LES COURBES

Théorie, Analyse, Application, Proportions

KUCHARSKI Marina
3 ème cycle_1 ère année
Session mai 2003

Séminaire: Culture Constructive
Enseigant: MARTY Alain

SOMMAIRE

INTRODUCTION *présentation et définition du sujet* p. 1

I RECHERCHE SUR LA FORME COURBE, LA PROPORTION p. 2

1/. La forme courbe : Présentation p. 2

2/. La courbe et l'architecture p. 2

3/. La proportion p. 5

II LES COURBES A POINTS DE CONTRÔLE p. 9

1/. Les nouvelles méthodes mises en lumière par la CAO. p. 9

2/. L'algorithme de De Casteljau. p.10

2.1/. La parabole p.10
2.2/. La cubique p.10
2.3/. Plus de points : chaînage p.11

III LE VIOLON : ANALYSE DES COURBES. p.12

1/. Connaissance théorique de l'instrument p.12

2/. Connaissance visuelle de l'instrument : approche par dessins. p.13

2.1/. Première approche du violon, de sa forme en général p.14
2.2/. Suite des essais selon une trame véritable, premières proportions p.14
2.3/. Vérification des proportions obtenues p.15
2.4/. Etudions plus précisément le violon p.15
2.5/. Recherche de proportions pour le violon en se basant sur le Harrison p.15
2.6/. Proposition et comparaison de proportions pour le violon. p.16

3/. Tracé des courbes du violon : recherche de points de courbures. p.18

3.1/. Recherche de points directeurs p.18
3.2/. Utilisation du logiciel Autocad 2000 p.20
_3.2.1/. Positionnement des points directeurs selon un module p.20
_3.2.2/. Proposition de proportions p.23
3.3/. Application de De Casteljau à main levée p.25
_3.3.1/. Localisation des points directeurs p.25
_3.3.2/. Proposition de proportions p.30

CONCLUSION p.31

BIBLIOGRAPHIE p.32

INTRODUCTION :

La Nature est courbe, la Vie est courbe.
Si l'on observe notre environnement, rien de ce qui est « naturel » n'est angulaire, orthogonal : la Terre, les plantes, le mouvement de l'eau, les êtres vivants, …
La droite, la perpendiculaire est humaine. C'est une conception pratique, mais froide, rigoureuse, quelque part inerte.
La courbe, et par là les formes courbes, sont considérées comme le symbole de la féminité, de la Vie. Elle est douce, vivante par son mouvement, rassurante.

La courbe fait partie intégrante de la vie de l'Homme, elle l'inspire dans ses réalisations. Que ce soit dans l'art ou l'architecture, elle est présente, mais elle reste difficile à reproduire.
Dans ses projets, dans l'architecture, l'homme a besoin de s'appuyer sur une certaine rigueur, sur un système de tracé régulateur, sur des proportions. Ce système régulateur , utile pour les compositions orthogonales, devient restrictif pour la réalisation des formes courbes « libres ».
Si elles ne sont pas réalisées à main levée, par le talent de reproduction visuelle de l'artiste, les courbes deviennent rigides, et perdent leur aspect « naturel ».

Aujourd'hui, une nouvelle méthode de dessin, selon des points de courbures, permet de dessiner des courbes autres que les arcs de cercles.
Utilisée au travers de logiciels informatiques, notamment dans le domaine du Design, cette méthode reste peu répandue. En effet, dans d'autres domaines comme l'architecture , ou pour des objets devant être réalisé manuellement, elle reste difficile pour reproduire les données sur le terrain, à la main.
Pourtant, la méthode d'après les points de courbures peut se réaliser aussi à main levée. La courbe de De Casteljau, permet une facilité de reproduction dans la construction, mais elle est malheureusement méconnue.

Beaucoup de réalisations courbes, comme le violon, établies selon une approche classique, peuvent se voir alors appliquer cette nouvelle méthode de dessin.

Ainsi, ce mémoire tend dans un premier temps à comprendre l'utilisation de la forme courbe au travers des réalisations de l'Homme. Puis de faire connaissance avec un outil de dessin, facile d'emploi ; ceci afin de rapprocher ces constructions de la courbe « libre », telle que la nature la produit. Enfin, d'appliquer cette « nouvelle » méthode au travers de l'analyse des courbes d'un objet comme le violon.

I RECHERCHE SUR LES FORMES COURBES, LA PROPORTION.

1/. La forme courbe : Présentation

La forme courbe peut de définir selon deux principes géométriques :

Littéralement, la définition d'une courbe est telle que : « En géométrie : lieu des positions successives d'un point qui se meut d'après une loi déterminée. Courbes fermées (cercles, ellipse). ».[1]

Qu'entend –t-on par « loi déterminée »? Simplement qu'une courbe prend forme suivant une donnée mathématique, une mesure, une proportion, et non dessinée aléatoirement.

La courbe se traduit aussi par la sphère, les formes ovoïdes, elliptiques, toutes issues du cercle. Le cercle (courbe fermée) est, avec le carré et le triangle, la forme élémentaire, la figure de base régulière dans la géométrie.

Selon la traduction de l'œuvre anglaise : « Architecture : form, space and order » de Francis D.K. Ching [2], *le cercle se décrit par une série de points espacés régulièrement et s'équilibrant autour d'un point central. […] Le cercle est une figure centralisée, introvertie qui est stable et s'autosuffit, s'autocentre dans son environnement.* La forme sphérique peut se transformer en n'importe quelle forme ovoïde ou elliptique selon que l'on allonge un de ces axes.

La forme courbe est une forme fluide, douce, mais qui ne peut s'exprimer qu'au travers de données mathématiques, des proportions généralement simplifiées par l'emploi de la forme élémentaire qu'est le cercle.

2/. La courbe et l'architecture.

La courbe est une forme *vivante, naturelle, en mouvement.* En effet, si l'on observe la nature, on ne trouve pas d'angle droit, de ligne exactement droite, tout est arrondi, courbe : la terre, les plantes, les êtres vivants, et même le fonctionnement de la vie : les molécules (ADN est une hélice), la révolution de la planète, l'eau …

L'homme l'a bien compris, et le traduit dès les prémices de son architecture. La courbure inspire. Depuis l'Antiquité, on s'attache à produire des formes courbes, en s'inspirant de la nature. Ainsi, la forme courbe « libre » utilisée par exemple dans la sculpture de corps, se fait à l'œil de l'artiste. Elle ne peut être génératrice d'un tracé mathématique, et donc reproduite exactement comme l'aurait dessiné l'artiste. C'est ce qui fait l' originalité, la maîtrise et la spécificité du travail d'artisan.

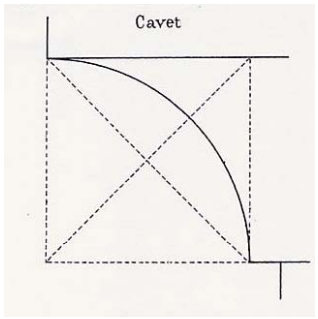
En revanche pour l'élaboration des constructions humaines, on cherche à rationaliser, en vue d'une facilité de production et reproduction. On utilise alors l'arc de cercle dans les compositions architecturales telles que les arcs en plein cintres, ou voûtes, plans d'église, moulures de chapiteaux, et puis ensuite le mobilier,… Le cercle pouvant se construire facilement à l'aide d'une simple corde sur n'importe qu'elle surface, peut-être utilisé pour la réalisation d'ovales, de spirales.

En effet, dans l'Antiquité, si l'on observe les colonnes des temples, on remarque que les différentes parties que sont la base, le fût, et le chapiteau sont élaborées à partir d'arcs de cercle. Le fût n'est qu'un (assemblage de) cylindre(s), plus ou moins bombé(s). Les différentes espèces de moulures se tracent selon : de simples demi-cercles comme pour les tores ; des quarts de cercles ou triangles équilatéraux pour les formes sinueuses des doucines (ou inverse pour les talons) ;

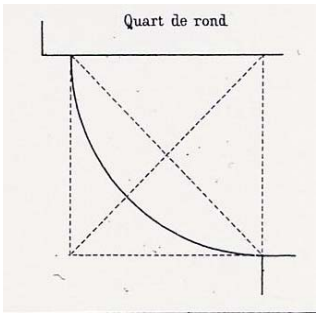
1 : cf. Alain Rey_ LE ROBERT,dictionnaire d'aujourd'hui_ édition France LOISIRS, Paris 1992_ la Courbe p.230

2 : édition Van Nostrand Reinhold, 1979

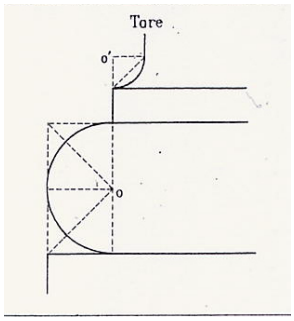
une démultiplication d'arcs de cercles pour la scotie.[3]
Les principales moulures simples sont : le Cavet, le Quart de rond, et le Tore.



Le Cavet est un quart de cercle rentrant, dont la saillie est égale à la hauteur.

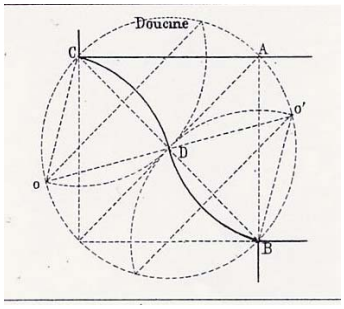


Le Quart de rond, est sortant.

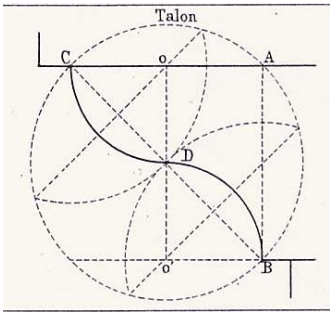


Le Tore, à l'usage de toutes les base d'ordres, est un demi-cercle sortant.

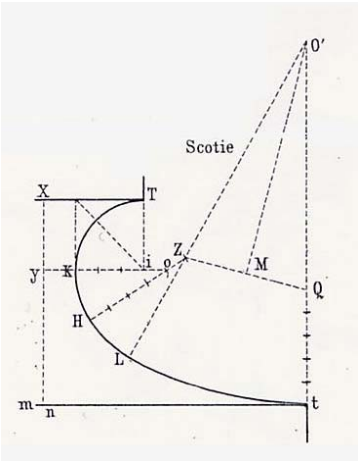
Les moulures composées sont : la doucine, le Talon et le Scotie.



La Doucine est une forme sinueuse ou ondulée.
Elle est concave et la saillie est égale à la hauteur.



Le Talon est une moulure formée par deux arcs de cercle, comme pour la Doucine tout en marquant un décalage par rapport aux listeau



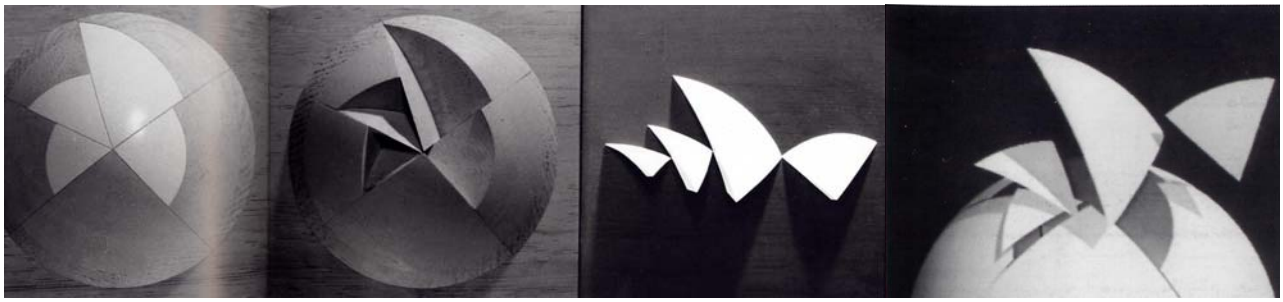
La Scotie est une moulure creuse placée ordinairement entre deux portées verticales. Elle peut se tracer en divisant la saillie et la hauteur en trois, puis tracer des portions de cercles. La courbe obtenue doit se dessiner à main levée.

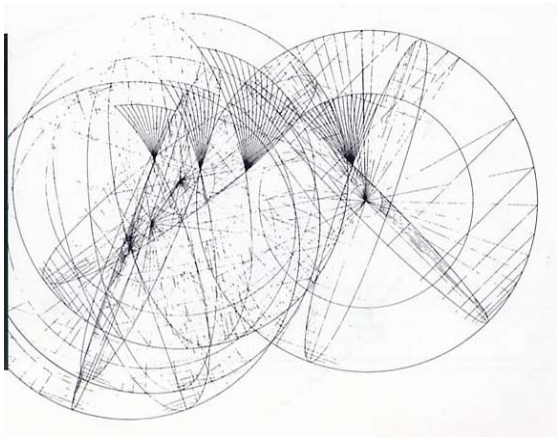
3 : collectif_ Encyclopédie Diderot : « architecture et parties qui en dépendent »,_ édition Charles Schmid, Paris_ tracé des moulures p.2,3

Ces moulures, employées selon l'ordre, ont engendré les même formes ainsi que leurs noms dans le mobilier.

Au Moyen-Age, les arcs et autres voûtes se construisent toujours selon l'arc de cercle. L'évolution technique, qui permet une meilleure compréhension des descentes et répartitions des charges dans les éléments, aboutissant à la chaînette, courbe optimale, n'a pourtant pas changé son système de construction. L'arc de cercle reste l'outil idéal. Cela peut se vérifier pour les réalisations d'arcs comme le plein cintre, le brisé, la anse de panier, …

Encore aujourd'hui, on cherche à rationaliser, à composer mathématiquement les formes courbes. En 1957, Jorn Utzon gagne le concours de l'Opéra de Sydney en proposant un ensemble de coques de formes courbes « libres » sur une plate forme. Malgré le charme et la singularité de ces formes, la réalisation du projet est impossible : « Les coques d'Utzon sont un casse-tête sans précédent. Leur forme est complexe et leur géométrie encore indéfinie. » [4]. Les ingénieurs veulent simplifier les coques. Ainsi, en 1961, les surfaces de toutes les coques deviennent des surfaces extraites d'une sphère virtuelle. La solution se rattache donc à une rigueur géométrique, désormais plus facilement réalisable.





D'ailleurs, cette « transformation mathématique » n'a pas été appréciée par tout le monde. Quelques défenseurs intégristes de l'architecture organique considèrent que « Le passage des formes « libres » à la géométrie sphérique aurait irrémédiablement trahi le concept de départ qui faisait la valeur et l'innovation du projet. »[5]
La forme "libre" n'est décidément pas une aide à la réalisation de projets.

Cette rationalité mathématique vis à vis de la forme courbe « libre » semble être tout de même compensée par un rapport de proportion lié à la Nature.
L'arc de cercle est l'outil, mais pour construire il faut des mesures, des données.
C'est la nature qui les donnent, par la volonté de l'Homme à reproduire cette « harmonie ».
On recherche donc à travers elle, des proportions harmonieuses, esthétiques, ne gênant pas l'œil. On s'en inspire , on l'étudie.

4 : Fromonot Françoise_ « Sydney Opéra House- Jorn Utzon» _ édition Gallimard_p.81
5 : Fromonot Françoise_ « Sydney Opera House, Jorn Utzon »_ édition Gallimard_p. 89

3/. La proportion

Dans l' Antiquité, la notion d'harmonie est déjà présente. C'est Pythagore, mathématicien et fondateur, au VI ème siècle avant J.C., d'une école scientifique, qui invente la notion de « l'harmonie mathématique » [6]. Partant de l'idée que l'univers est constitué d'une même matière, tous les éléments, bien que séparés, sont joints selon un ordre immuable : il existe donc une harmonie parfaite entre les différents éléments, et elle s'exprime en nombre. Ce concept d'ordre entraîne, par là, celui de la proportion.

Pythagore estime que la nature répond à une logique mathématique (dans sa croissance, la disposition et l'espace du feuillage, …) et que c'est d'elle qu'elle tire sa beauté. Ainsi le rythme de vie des plantes, et notamment certains coquillages évoluent selon le rythme spiralé du nombre harmonique.

Mais la formule mathématique, le « nombre d'or » n'existe pas encore, elle apparaîtra plus tard.

Pour le moment, on établit un principe de proportion apparaît alors : « *le module* ». [7]

Le module peut se définir ainsi : « Unité de convention, mesure arbitraire servant à établir les proportions des parties d'un édifice (en général un demi diamètre de colonne) », Viollet-le-Duc. Ce module de ½ diamètre de colonne utilisé par les Grecs (sans aucune référence humaine à l'époque) peut se subdiviser suivant un système duodécimal tel que : 2*2*3.

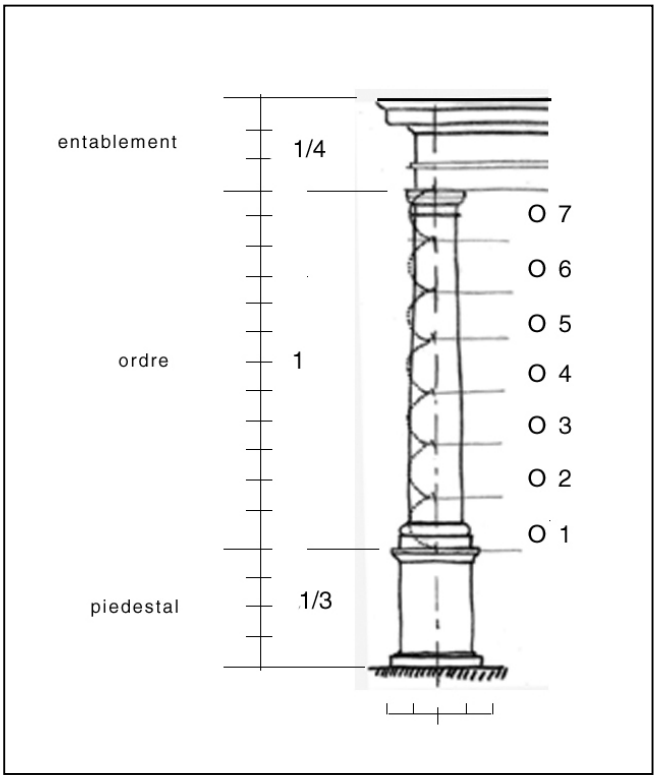
Type de division du module

A éviter	A retenir
Système décimal (5 × 2), car 5 est un nombre premier trop avancé.	Système duodécimal (2 × 2 × 3) — pratique, car plus proche du système binaire il utilise les nombres premiers les plus bas ; — beau, comme en témoignent les modulations des colonnes antiques (modulation du dorique latin et toscan selon Vignole, divisibilité par 18 du chapiteau ionique, corinthien et composite).
Géométrie à base de nombres irrationnels.	Géométrie additionnelle dont on élimine les figures irrationnelles. — Rapports modulaires ; — Angles diophantiens 3, 4, 5 5, 12, 13 8, 15, 17 et leurs multiples 7, 24, 25
Tracés symboliques à base de pentagones qui, additionnés, ne couvrent pas l'espace et ne peuvent produire que des objets centrés. $(180° - 72°) \times 3 < 360°$	Découpe de plan par des figures qui, par addition, couvrent tout le plan : triangles, hexagones, carrés.

6 : collectif_ « les grandes énigmes » _ collection la mémoire de l'humanité, édition Larousse 1992, Paris_ chapitre le nombre d'or, p. 62.

7 : Claire et Michel Duplay_ « méthode illustrée de création architecturale » _ édition Le Moniteur, Paris 1982_ le module, p.278

Ce type de division du module permet une multiplicité de possibilités de compositions, ainsi qu'une certaine esthétique. Pour exemple, l'ordre se divise en plusieurs diamètres:



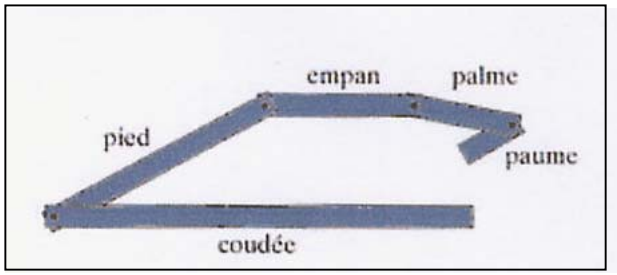
La colonne Toscane.

7∅ correspond à l'ordre Toscan : aspect rustique propre à l'architecture militaire.
8∅ correspond à l'ordre Dorique: aspect solide pour les édifices publiques
9∅ correspond à l'ordre Ionique : aspect moyen pour les habitations
10∅ correspond aux ordres Corinthien: aspect délicat des demeures souveraines.
Composite: aspect composé utilisé pour la décoration théâtrale, les fêtes publiques, …

La colonne Toscane possède un rapport de module de 3 pour l'entablement, de 12 (2*2*3) pour l'ordre, et de 4 (2*2) pour le piédestal. Ainsi l'entablement est le 1/4 de l'ordre et le piédestal le 1/3 de l'ordre.

D'autre part à cette époque antique, les grades n'existent pas, l'unité de mesure première est l'homme.
Le « *modulome* », ainsi appelé se compose de :

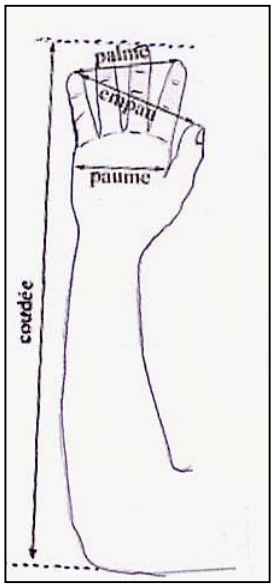
_ le pied = 30cm. = 12 pouces.
_ la main/l'empan = 20cm. = 8 pouces.
_ la paume = 10cm. = 4 pouces.
_ la coudée = 50cm = 20 pouces.
_ le pouce = 2.5cm.



Ces mesures étaient reportées sur un instrument, telle la *corde à 13 nœuds* espacés chacun par la coudée. Cette corde, formant un triangle rectangle (3.4.5), permettait de construire les angles droits, les cercles et dérivés. Au Moyen-Age, les bâtisseurs de cathédrale utilisaient aussi une *pige* constituée de 5 tiges articulées, correspondant chacune à une unité de mesure de l'époque, relative au corps humain[8] : la paume, la palme, l'empan, la coudée, et le pied.
Les longueurs étaient données en lignes, une ligne mesurant environ 2 mm.(précisément 2.247 mm.)

8 : Livre de mathématiques 3ème , collection cinq sur cinq, Hachette

Paume	4 lignes	7.64 cm.
Palme	55 lignes	12.63 cm.
Empan	89 lignes	20.00 cm.
Pied	144 lignes	32.60 cm.
Coudée	233 lignes	52.36 cm.



Malgré l'emploi du même outil, la différence entre l'Antiquité et le Moyen-Age est grande. Pour la première période, la mesure humaine n'est qu'un outil , les dimensions des temples n'ont aucune référence avec les dimensions de l'homme. « Au fur et à mesure que les temples devenaient plus grands, le module grandissait, traduisant une indépendance complète de l'architecture par rapport au monde humain. En revanche, pour la deuxième période, l'architecture devient une construction de l'homme, par l'homme et pour l'homme. Les temples vont être donc construis selon sa proportion.

C'est en 1498 que le nombre harmonique, la proportion mathématique esthétique, employé dans la construction des monuments, des sculptures … se fait véritablement « re »connaître.
Luca Pacioli [9], moine fransciscain, théologien, écrit « *De Divina Proportione* ».[10]Il expose au grand jour un enseignement confidentiel que se transmettaient les familles de bâtisseurs et les corporations d'autrefois, et parle clairement de proportion divine, proportion dorée Pacioli déclare que « dans le premier chapitre de l' « *Architecture »*, intitulé " *De la mesure et des proportions du corps humain de la tête et des autres membres, modèle de l'architecture*", la référence à Vitruve est des plus claires et ne ressortit plus exclusivement de la pure mathématique "*... la nature, ministre de la divinité, lorsqu'elle façonna l'homme, en disposa la tête avec toutes les proportions voulues, correspondant à toutes les autres parties de son corps : aussi les anciens, en égard à la disposition du corps humain, édifièrent toutes leurs œuvres, et principalement les temples sacrés, selon ces proportions. Ils trouvaient en effet dans le corps de l'homme les deux figures les plus importantes (*le cercle et le carré*), sans lesquelles il est impossible de faire quelque ouvrage que ce soit...*" »[11]
On retient donc que, le nombre d'or existe depuis toujours mais n'est pas considéré comme tel, il est reproduit à travers l'utilisation de la mesure humaine : si l'homme appartient à la Nature, et la Nature se compose à travers le nombre d'Or, alors l'homme se compose aussi selon le nombre d'Or.

9 : Luca Pacioli (env. 1450-1514) : originaire de Borgo San Sepolcro, il enseigne les mathématiques dans de nombreuses villes italiennes et se lie d'amitié avec certains des plus éminents esprits de la Renaissance : Alberti, Piero della Francesca et Vinci.
10 :Luca Pacioli/ traduction française par G. Duschesne et M. Giraud_ « De Divina Proportione »_ édition Librairie du Compagnonnage, 1980]
11 : cf. www.ac-poitiers.fr/arts-p/b@lise14/pageshtm_4.htm

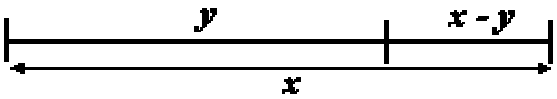
Tous les monuments, que ce soit les temples grecs, égyptiens,…possèdent ce rapport au nombre d'or au travers du corps humain, et du cercle qui se retrouve en lui.

*« Le beau est l'échelle humaine, mais ordonné dans la grandeur. »*Aristote.

Mais qu'est ce que le nombre d'Or précisément ?

Le nombre d'Or (1.618) est un rapport, un quotient, c'est le résultat de la division de deux longueurs, telle que :

Un segment est partagé suivant la section d'or ou la proportion divine si les rapport x / y et $y / (x - y)$ sont égaux, ce qui signifie que le petit et le moyen segment sont dans le même rapport que le moyen et le grand segment.



$x / y = y / (x-y) = 1.618…$

Le nombre d'or est la solution positive de l'équation : $x^2 – x – 1 = 0$, c'est-à-dire le nombre $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$

On le désigne par la lettre grecque φ(phi) en hommage au sculpteur grec Phidias (né vers 490 et mort vers 430 avant J.C) qui décora le Parthénon à Athènes, en utilisant la racine carré de 5 comme rapport. C'est Théodore Cook qui introduisit cette notation en 1914. [12]

Mis de côté pendant longtemps, le nombre d'Or tombe dans l'indifférence, laissant la place à l'évolution de la pensée rationnelle, mathématique, technique. Pourtant, l'homme s'attache toujours à vouloir créer des objets, des œuvres où s'exprime une cohésion naturelle, une certaine esthétique. Même si nous dessinons, réalisons sans se baser sur le nombre d'or, on le retrouve naturellement. Il est présent en nous, il ressort inconsciemment, intuitivement dans nos créations.

L'approche classique de la forme courbe, au travers des arcs de cercles dimensionnés selon une certaine proportion harmonique, permet une facilité dans la (re)production

En effet, n'ayant pour seul outil la règle et la corde, et pour connaissance la droite et le cercle, la réalisation des courbes ne peut se faire que par ces moyens.

Cette approche est, certes simple, pratique, mais elle est limitée. Les courbes ne sont pas « libres », leur aspect est trop contrôlé, rigide.

Pour réaliser des formes plus souples, fluides, on ne connaît que la main de l'artiste. Cet autre moyen, est lui, un ouvrage minutieux et artisanal. Il ne s'offre alors pas à tout le monde.

Pourtant, il existe d' autres méthodes, contemporaines, faciles de réalisation et de reproduction. Elles permettent de réaliser des courbes d'une façon plus douce, plus proche du dessin à main levée.

12 : cf. trucsmaths.free.fr/nombre_d_or.htm

II LES COURBES A POINTS DE CONTRÔLE.

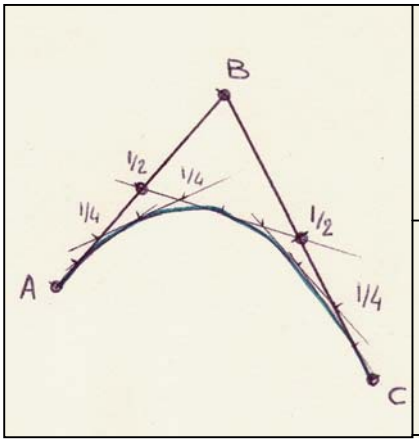
Même si la plupart des courbes « libres » sont rationalisées, dans la construction, il reste tout de même des exceptions.
Dans les années 60, les voitures, les hélices d'avions, les coques de bateaux, présentent ce type de formes courbes, mais elles sont encore tracées à mains levées sans que l'on puisse décrire leur forme par une formule mathématique.
L'avancée technologique ne permet toujours pas aux machines numériques de produire des formes autres que les paraboles et ellipses. Les machines ne sont alimentées que par des formules permettant des déplacements élémentaires comme des droites, des arcs, et à la rigueur des ellipses.

C'est en voulant résoudre ce problème, que de nouvelles méthodes pour tracer les courbes voient le jour.

1/. Les nouvelles méthodes mises en lumière par la Cao.

Un ingénieur français de Renault, Pierre Bézier, se penche sur ce problème. Il cherche à traduire mathématiquement une courbe dessinée à main levée. Bézier propose alors une technique analytique (représentation polynomiale), une équation.
Ses courbes vont ainsi s'inscrire comme base de langage informatique, et permettront de définir les caractères aux formes arrondies.[13]

Parallèlement, en 1958, un mathématicien employé chez Citroën, Paul de Casteljau, s'attaque au même problème. Lui, propose une approche géométrique. Il tente de réaliser des courbes gauches selon des pôles, des points directeurs.



Selon Bézier, la parabole s'applique d'après cette équation du second degré :
$P = (1-t)^2\ P0 + 2\ (1-t)\ t\ .\ P1 + t^2\ .\ P2$
$t \in [0,1]$

La parabole selon la méthode de De Casteljau :

On sectionne à chaque fois les segments en leur milieu, afin de créer les tangentes pour la forme courbe à dessiner.

Contrairement à la méthode de Pierre Bézier qui propose une méthode complexe, celle de De Casteljau est beaucoup plus simple et facile pour réaliser les paraboles, ellipses, et autres courbes gauches.

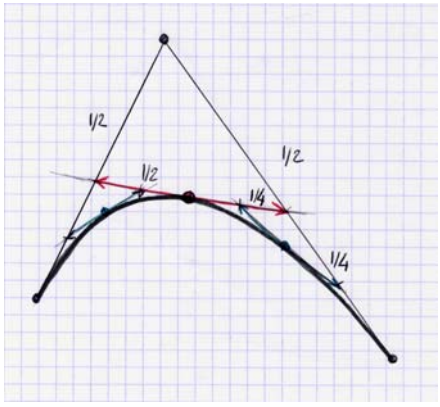
Méconnue au profit de la méthode de Bézier qui est publiée, la méthode de De Casteljau reste la plus simple, pratique et rapide pour le dessinateur, l'architecte. Elle est aussi la plus abordable, et réalisable par tout un chacun.
Ainsi, nous allons laisser l'équation des Bézier aux ingénieurs, et apprendre à découvrir et utiliser celle De Casteljau.

13 : cf. liocity.free.fr/charger_delphi/tutorial/Bezier.htm
cf. users.info.unicaen.fr/~karczma/matrs/GraDeug/Code/Pr2503.html

2/. L'algorithme de De Casteljau.

Basée à partir d'un simple tracé, la méthode de De Casteljau permet de réaliser toutes sortes de courbes.
La forme courbe que l'on souhaite dépend juste du nombre de points directeurs et leur positionnement, utiles au tracé :
- 3 points conduisent au tracé d'une parabole.
- 4 points conduisent à la réalisation d'une cubique.
- plus de points : on lie les courbes, on les chaîne.

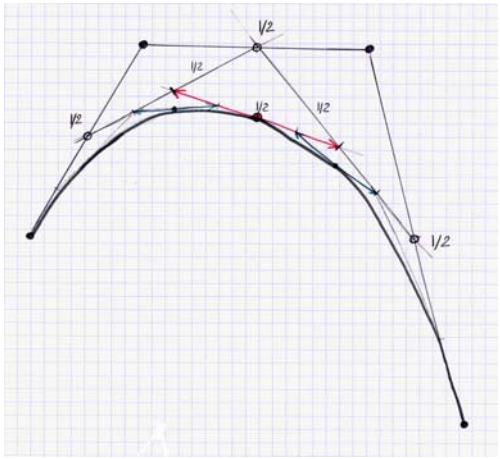
2.1/. La parabole (quadratique).



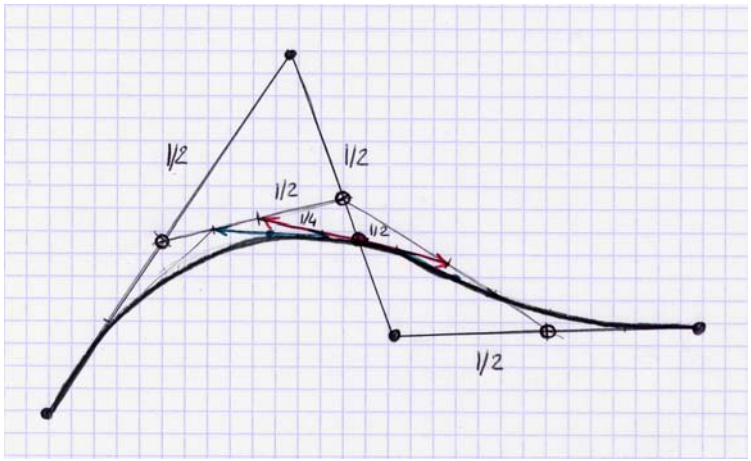
Une parabole est une courbe qui se trace selon 3 nœuds :
Trois points sont disposés dans l'espace, ils sont reliés par deux segments.
On sectionne chaque segment en son milieu, puis on relie ces deux nouveaux points.
Le segment obtenu est la tangente principale à la parabole.
Le milieu de ce segment est le point appartenant à la courbe.
Pour une précision dans le tracé, il faut appliquer de nouveau ce système à gauche et à droite de la figure.

2.2/. La cubique.

Une cubique est une courbe qui se trace selon 4 nœuds.
Le tracé de la cubique suit le même principe que celui de la parabole. Il faut simplement ramener le dessin à trois points de contrôle :
On sectionne chaque segment en leur milieu afin d'arriver à une courbe à 3 points de contrôles. Ainsi, on recoupe les deux segments en leur milieux pour obtenir la tangente comprenant le point central de la courbe .



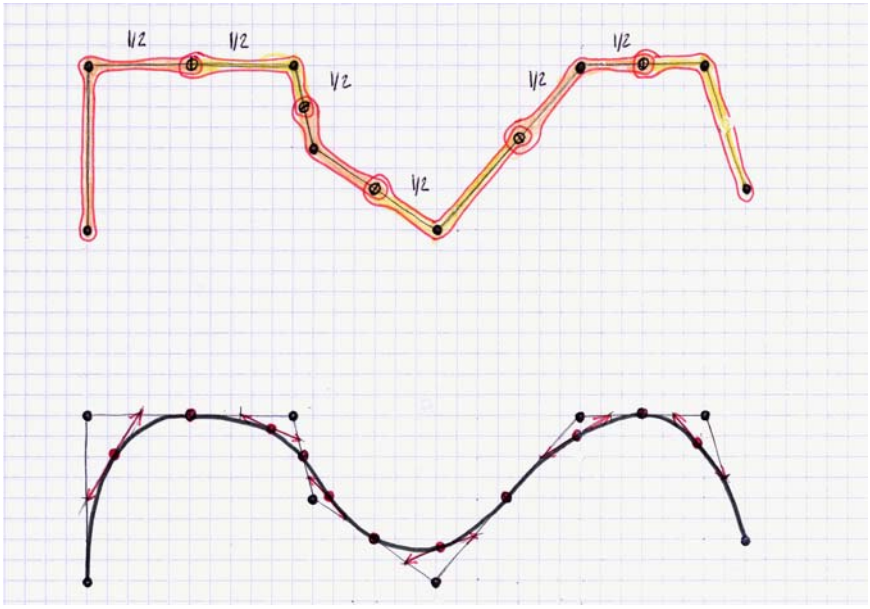
Courbe sans point d'inflexion.



Courbe avec point d'inflexion.

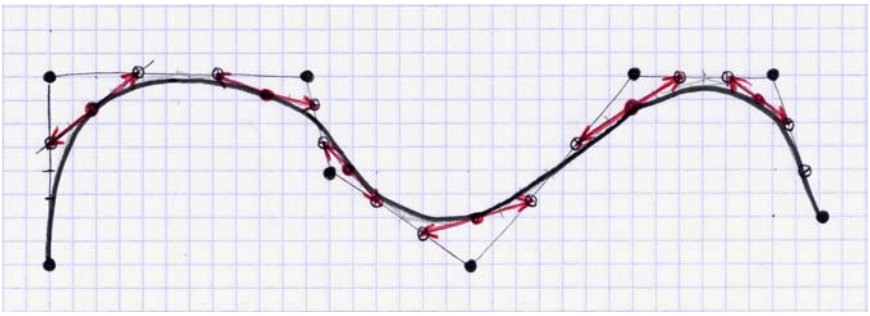
2.3/ Plus de points : chaînage

Quand le nombre de points est important, il est difficile de s'y retrouver.
La méthode est alors de découper le polygone de contrôle en plusieurs polygone à 3, ou 4 points selon le principe de courbe souhaité.
Il ne reste plus qu'à appliquer à nouveau la méthode vue précédemment.



Spline quadrique :

On sectionne chaque segment interne au polygone en son milieu.
On crée ainsi un polygone à 3 points directeurs, et on lui applique le principe d'une courbe parabolique.
La courbe suit « correctement » le polygone de départ.
Ce principe, simple, est souvent utilisé dans des logiciels de 2D.



Spline cubique :

On sectionne chaque segment en 3 parties égales.
On crée des polygones à 4 points de contrôle.
La courbe obtenue est plus « plate » et ne passe pas par les points de contrôle du polygone de départ.

Cette méthode géométrique de dessin, simple, permet de réaliser facilement n'importe quelle courbe. En connaissant la localisation des points de contrôles de départ, et la courbe que l'on souhaite réaliser, n'importe quelle reproduction est alors aisée.

Pourquoi ne pas alors essayer d'appliquer cette méthode à un objet courbe ?
Parmi différents projets, notre choix se porte sur le violon.
Cet instrument, connu notamment pour sa qualité formelle, est intéressant à analyser, puisque comme la plupart des objets à formes « libres », sa réalisation reste artisanale.

III LE VIOLON : ANALYSE DES COURBES

Au travers de l'observation de différentes réalisations comme l'on a pu voir avec les colonnes antiques, les statues, …nous pouvons noter le lien étroit entre la courbe et la proportion. Parmi ces ouvrages, le violon est un instrument qui semble posséder ces deux éléments.

Après une connaissance théorique, on laissera cet acquis de côté, afin de redécouvrir l'instrument par une approche plus visuelle, par de simples dessins à main levée.

Enfin, on lui appliquera la méthode des courbes à points de contrôle, et on essaiera de lui trouver des proportions.

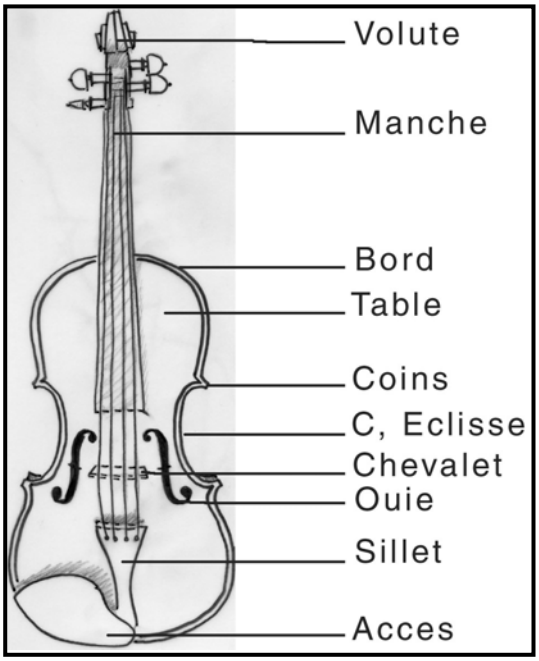
1/. Connaissance théorique de l'instrument

Les formes et la construction d'un violon s'expliquent en partie par des considérations pratiques : utilisation, prise en mains de l'instrument, sonorité. Mais l'esthétique en fait aussi partie.

Reconnu comme l'instrument idéal au niveau forme/qualité sonore, le violon n'est pourtant pas le fruit d'un simple calcul technique, de mesure, de proportion .
Il est issu d'une longue recherche évolutive, d'expériences de toutes sortes d'instruments aussi différents les uns que les autres, et ce, sur plusieurs siècles. Pour l'origine, on peut remonter jusqu'à la Lyre, en passant par la Harpe; puis l'instrument se ferme dans une caisse, prend la forme d'une poire, se voit ajouter deux voûtes, ….
"L'anatomie du violon tel qu'il apparaît aujourd'hui dans l'orchestre est restée pratiquement inchangée depuis 1830, époque à laquelle sont issus la plupart des violons authentiques de "l'Age d'or de la lutherie"_ de 1690 à 1750_". [14]C'est à cette époque, fin XVIII_XIX, que l'on considère le meilleur rapport technique/esthétique.

La perfection sonore dans une si petite caisse est due à tous ses composants sculptés, assemblées, collés avec minutie:

- Le bois : son aspect, sa fibre, sa résistance mécanique, sa qualité acoustique, sa malléabilité, …en font la qualité de l'instrument. En général, on utilise de l'Erable des Balkans, et de l'Epicéa. Le sapin comprend un très bon rapport mécanique/acoustique (il a même une meilleure propagation du son que le carbone).



- La forme des différents éléments:

Le chevalet est arrondi afin de frotter une corde à la fois.
Les C des éclisses permettent le passage de l'archet.
Le positionnement et la dimension de l'âme permet de reprendre la tension du chevalet sur la table.
La table, son épaisseur, sa forme, permettent de résister au poids du chevalet, ainsi qu'une bonne propagation du son. Ainsi, la table est sculptée en forme de voûte, selon un plan topographique où la partie épaisse sous l'âme s'affine en s'éloignant.
Les ouïes, généralement en forme de C ou F servent à faire sortir l'air, et par là le son.

L'originalité des instruments, leur différence, s'établit alors selon le travail esthétique de certains éléments, qui ne modifient pas la perception sonore,

14 : collectif_ Encyclopédie Universalis_ édition Larousse 2002, Paris_ corpus 23 p.650

laissés à l'artiste: les ouïes (dans une certaine limite tout de même, d'autant qu'elles fragilisent la table par le fait de l'entaille dans le sens de la fibre), les coins (indépendant de la caisse interne), et la volute (est généralement un développement logarithmique) .
La table peut aussi être plus allongée, ou plus large, mais le son varie un peu.

Cette recherche, cette précision dans la structure formelle fait que l'objet ne peut être réalisé qu'artisanalement.
Sa forme en courbes "libres" ne peut être dessinée qu'à la main.
Aujourd'hui, les luthiers se servent de simples gabarits, de modèles, pour réaliser les violons. Certains considèrent même la réalisation à partir d'assemblage d'arcs de cercles. Mais de fait, la forme devient un peu plus "rigide".
Quand à la proportion dite "parfaite" de l'instrument: "maints chercheurs ont tenté l'analyse de la forme du violon à l'aide du nombre d'or, et l'on à même retrouvé des coïncidences qu'on peut difficilement attribuer au hasard, mais plutôt à une connaissance approfondie de certaines règles d'esthétiques classiques fort bien connues durant la Renaissance.".[15]
Le nombre d'or ne serait donc pas à l'origine de la mesure du violon. D'ailleurs, si l'on regarde la vie de Stradivarius, on notera que cet homme était analphabète. Comment alors, pouvait-il réaliser un instrument sur la proportion du nombre d'or, ou autre, alors qu'il ne savait pas lire, compter?
Il réalisait tout à l'œil, à l'instinct.(On pourrait alors penser que le nombre d'or était présent inconsciemment?!).

Ainsi, le violon se réalise artisanalement. Son dessin est aujourd'hui un simple « copiage ». Ne serait-il pas alors intéressant de le « re »découvrir par nous même, par une approche visuelle, de comprendre la forme et le lien de ses courbes, et peut-être de lui trouver une proportion dans son ensemble ?

2/. Connaissance visuelle de l'instrument : approche par dessins.

Dans cette étude du violon, nous allons surtout aborder l'approche formelle de la caisse.

Prenons comme modèle, un violon de Antonio Stradivari[16], le Harrison.
Observons :
Les ouïes sont en forme de f, les coins sont présents. Il n'y a pas d'acces, le sillet est fin, et le chevalet semble être vers le milieu des ouïes. La forme de la table est assez courbe, avec la partie basse plus volumineuse que la partie haute.

15 : collectif_ Encyclopédie Universalis_ édition Larousse 2002, Paris_ corpus 23 p.651
16 : Antonio Stradivari (1644-1737), luthier italien.

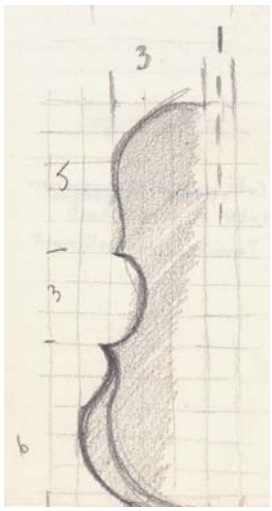
2.1/. Première approche du violon, de sa forme en général :

_ Croquis 1 :

Compréhension et approche première de l'objet, à l'œil .
Note : le violon ainsi dessiné ne semble pas être assez long, et est trop large à la base.

_ Croquis 2 :

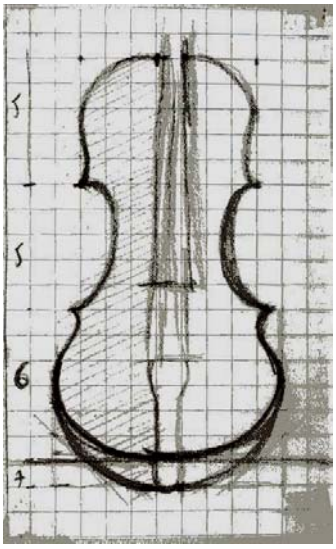
Tracé de courbes à l'aide d'un quadrillage, ceci, pour aider à mieux trouver les proportions.



2.2/. Suite des essais selon une trame véritable, premières proportions :

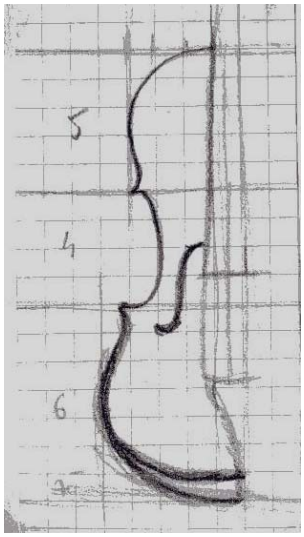
_ Croquis 3 :

La forme est trop allongée.
On retravaille la base qui apparaît trop plate : allongement d'une trame.
Note : visuellement, l'ensemble reste trop fin. L'instrument doit être plus large que ci-contre.



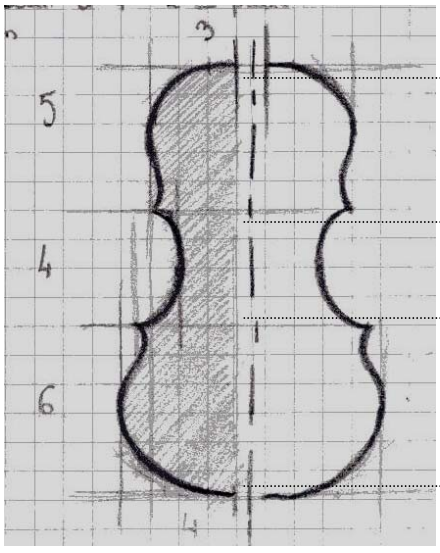
_ Croquis 4 :

Ce nouveau dessin semble se rapprocher de la photographie.
Note : A préciser, à travailler plus nettement.



_ Croquis 5 :

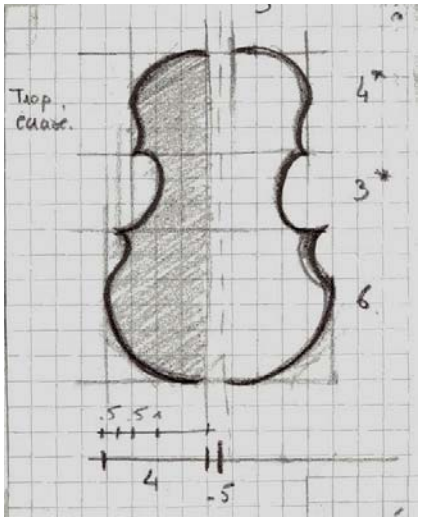
Cette proportion me semble bonne,
du moins visuellement.
Vérifions en modifiant quelques proportions dans les croquis suivant.



2.3/. Vérification des proportions obtenues.

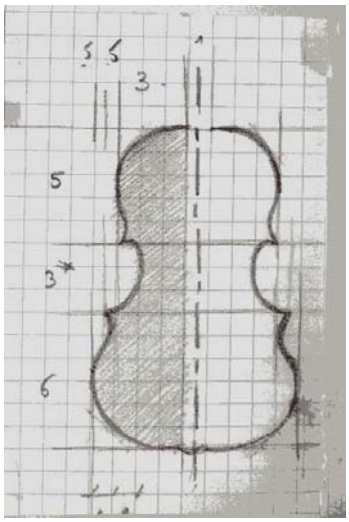
_ Croquis 6 :

Modification de la première et deuxième partie du violon.
Note : le violon est trop « compact », pas assez allongé.



_ Croquis 7 :

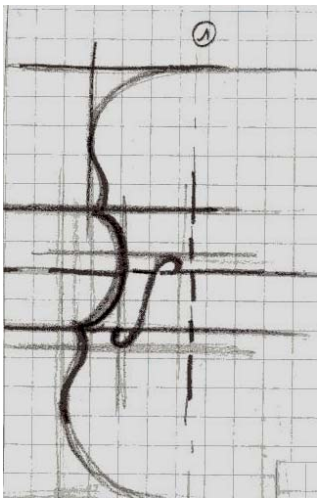
Modification de la partie centrale.
Note : les proportions semblent bonnes, mais par rapport à la photographie, ce même centre n'est pas assez allongé.

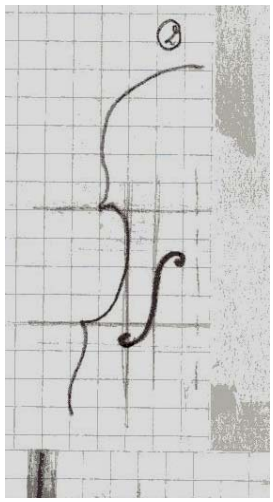


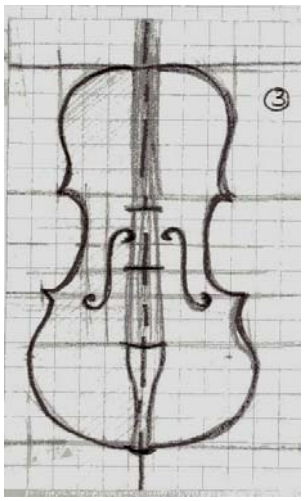
2.4/. Etudions plus précisément le violon

_ Croquis 8,9,10 :

Recherche sur le positionnement des ouïes selon la trame verticale et horizontale. ; ainsi que leur proportions.
De même pour le chevalet.







2.5/. Recherche de proportions pour le violon en se basant sur le Harrison :

Dans sa forme générale (la caisse), le violon Harrison peut se voir ainsi attribuer les proportions suivantes :

En hauteur : 5/15 pour la voûte haute, 4/15 pour l'éclisse, et 6/15 pour la voûte basse.

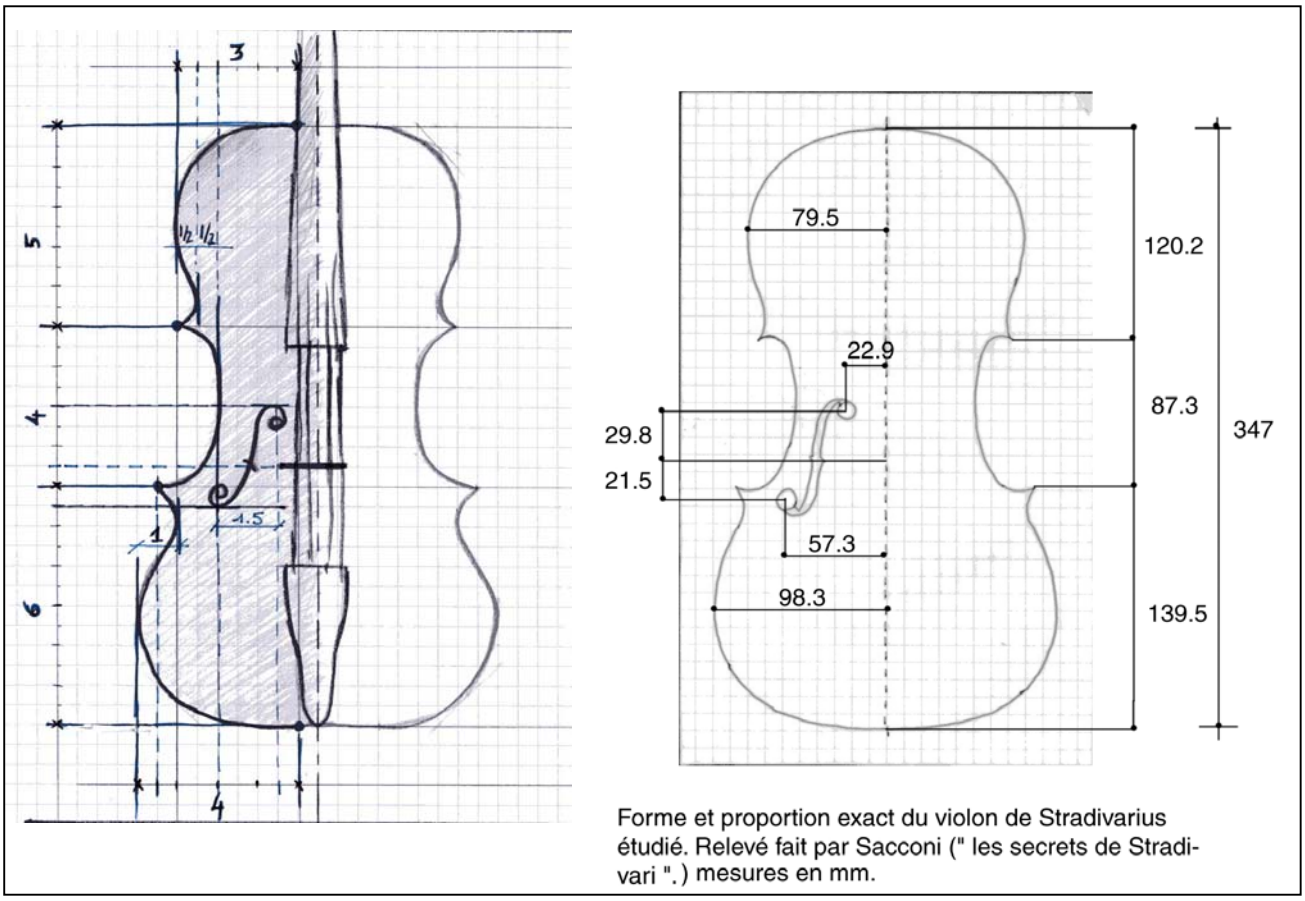
En largeur : 3/7 pour la voûte haute, 2/7 pour l'éclisse, 4/7 pour la voûte basse
3/7 pour le coin haut, 3.5/7 pour le coin bas .

Pour les détails :

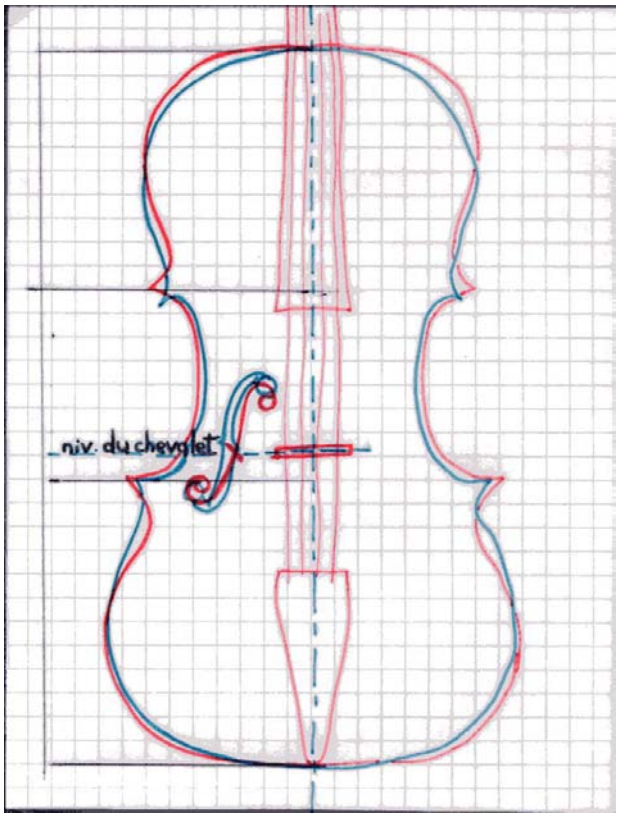
En hauteur : 2.5/15 pour l'ouïe, dont le sommet se situe au milieu de la hauteur de l'éclisse.
Le niveau du chevalet se situe au 6.5/15, en partant du bas du violon. Soit, au centre de l'ouïe.

En largeur : 1.5/7 pour l'ouïe, aligné à l'éclisse.

2.6/. Proposition et comparaison de proportions pour le violon :



Forme et proportion exact du violon de Stradivarius étudié. Relevé fait par Sacconi (" les secrets de Stradivari ".) mesures en mm.



Si l'on superpose le tracé du violon dessiné à l'œil (en rouge) et le tracé exact du Stradivarius (en vert), on peut vérifier que les proportions trouvées sont proches :

La forme courbe du Stradivarius est un peu moins marqué au niveaux des voûtes, mais plus au niveau des coins. Les coins hauts sont d'ailleurs plus surélevés.

Le chevalet se situe exactement au même endroit.

L'ouïe est plus allongé et plus redressé. Il est aussi plus épais.

Plus clairement, exposons le rapport de la recherche et de la mesure réelle du violon de Stradivarius :

On note que les rapports effectués sur les différents éléments du violon correspondent ,selon une marge minime, au rapport de la longueur totale de l'instrument.

Eléments (selon l'axe de symétrie)	Proportion proposée	Mesures du violon (mm)	Rapport P/M	Précision de la Proportion pour Un rapport plus
Longueur de la caisse du violon	**15**	**347**	347/15= **23.13**	Proche de 23.13 (division par ¼)
Longueur de la voûte haute	5	120.2	24.04	5.25
Longueur de l'éclisse	4	87.3	21.825	3.75
Longueur de la voûte basse	6	139.5	23.25	6
Longueur de l'ouïe	2.5	21.5+29.8 = 51.3	20.52	2.25
Largeur de la voûte haute	3.5	79.5	22.71	3.5
Largeur de l'éclisse	2.5	≅57.3	22.92	2.5
Largeur de la voûte basse	4.5	98.3	21.84	4.25
Position du point haut de l'ouïe par rapport à l'axe de symétrie	1	22.9	22.9	1
Position du point bas de l'ouïe par rapport à l'axe de symétrie	2.5	57.3	22.92	2.5
Largeur de l'ouïe	1.5	57.3- 22.9 = 34.4	22.93	1.5

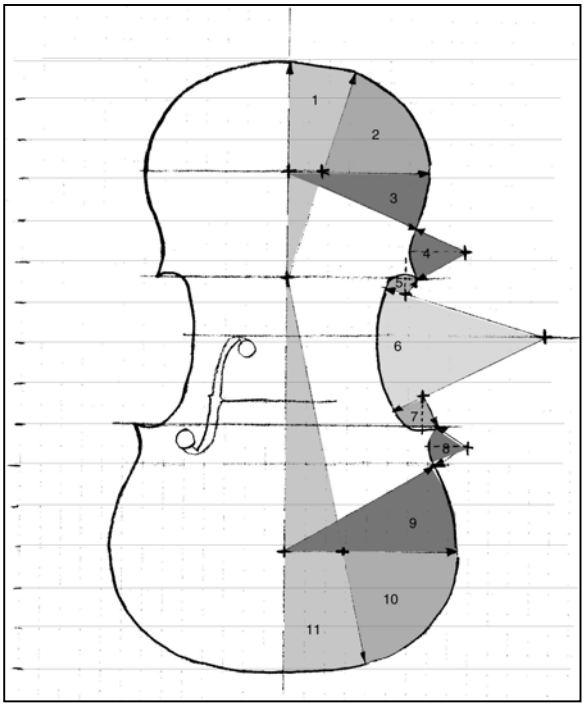
De plus, un entretien avec P. Devanneau, luthier à Crémone travaillant sur le Stradivarius, nous propose une autre proportion . Cet artisan considère comme rapport de proportion :
La largeur totale de la voûte haute+ la largeur totale de la voûte basse = La longueur de la caisse du violon.
Soit : (2*79.5)+(2*98.3) = 355.6 mm.
Or la longueur de la caisse est de 347mm + 7 mm d'épaisseur = 354 mm.

Le violon , que l'on ne sait reproduire que par relevé de mesures sur les instruments existants, peut se voir alors attribuer cette proportion.
Cette proportion trouvée, peut permettre une approche plus simple, voir plus libre, de l'instrument.
Mais maintenant que l'on peut connaître l'allure du violon, il faut pouvoir la réaliser.
Comment dessiner ces courbes ? Par quel moyen ? La méthode des points directeurs, jamais utilisée pour le violon, est un.

3./ Tracé des courbes du violon : recherche des points de courbures.

Jusqu'à présent nous ne connaissons , comme moyen de dessiner un violon que la méthode des arcs de cercles.
Cette méthode, est certes bonne, mais elle possède tout de même des inconvénients. Elle propose un assemblage d'arcs de cercles, ce qui ne permet pas une véritable continuité dans les courbes puisque cela créer des jonctions. De plus, pour réaliser cet instrument, on remarque qu'il faut dessiner une dizaine d'arcs de cercles tous différents (11 précisément). Les centres de ces cercles se positionnant un peu partout autour de la caisse, et ce selon aucune trame visible, connue.

La courbe de De Casteljau est une autre méthode géométrique simple. Elle permet de dessiner des paraboles, des ellipses, des courbes plus « libres ». Mais elle propose surtout une certaine fluidité dans la courbe , et un nombre de points directeurs moins nombreux.



Cette méthode géométrique, introduite notamment dans les logiciels informatiques, n'a encore jamais été employée pour le violon. Elle va permettre de dessiner une forme plus fluide, et peut-être encore plus simple que celle des arcs de cercles.

Après une observation des courbes, où l'on tentera de comprendre leurs formes, on recherchera les points directeurs .

Au travers de deux applications différentes, telles qu'un logiciel de dessin et la méthode de De Casteljau à main levée, on essaiera d'atteindre la forme du violon en déplaçant les points directeurs selon un module. Et ainsi peut-être proposer une proportion de tracé du violon.

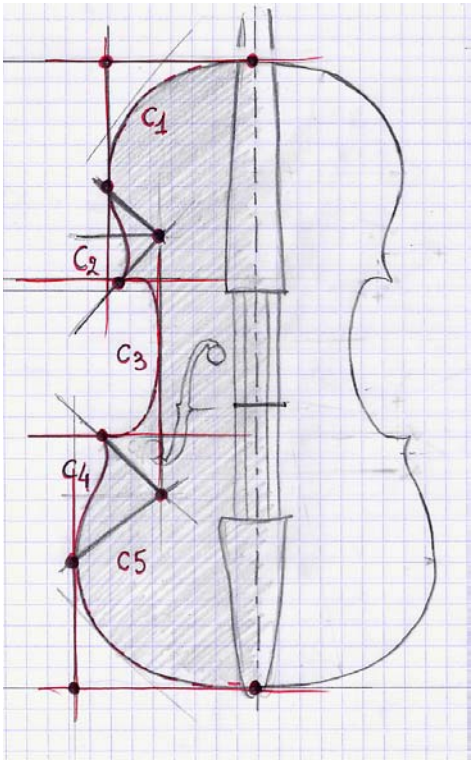
3.1/. Recherche de points directeurs :

Si l'on observe la caisse du violon, on peut séparer la forme en trois parties : la voûte haute, la voûte basse, et l'éclisse. Les voûtes hautes et basses sont formées à partir de deux courbes inversées. Mais elles ne sont pas identiques. La voûte basse semble plus aplatie, et la courbe du coin lui appartenant plus large. L'éclisse semble formée par deux courbes au niveaux des coins et d'une plus plate dans la longueur.
Les coins apparaissent pointus sur le dessin, mais en fait ils sont arrondis.

A l'aide de l'observation des éléments, ainsi que des proportions trouvées précédemment, et selon une grille orthogonale , on va alors tenter de localiser les points directeurs qui vont servir au tracé des courbes. L'objectif étant de minimiser le nombre de ces points.
(Désormais, nous allons employer comme support de recherche le croquis avec les dimensions précises de l'instrument. L'étude n'en sera que plus exacte.).

_ Croquis 11 :

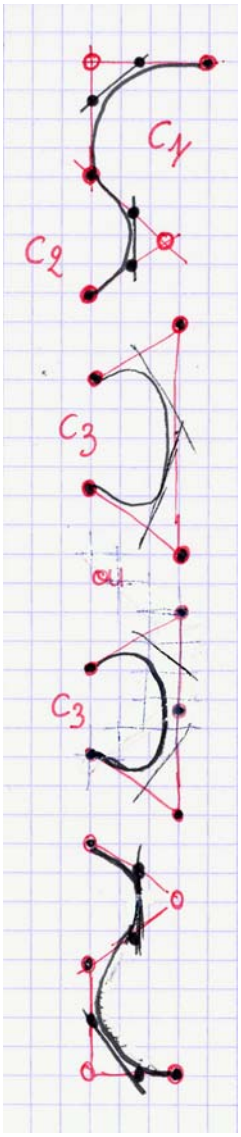
Recherche et localisation de points directeurs. Selon l'observation effectuée, on part sur la présence de 5 courbes, plus précisément de 5 cubiques (tracé selon 4 points directeurs). On place les points dans un premier temps orthogonalement, suivant les probables tangentes.



_ Croquis 12 :

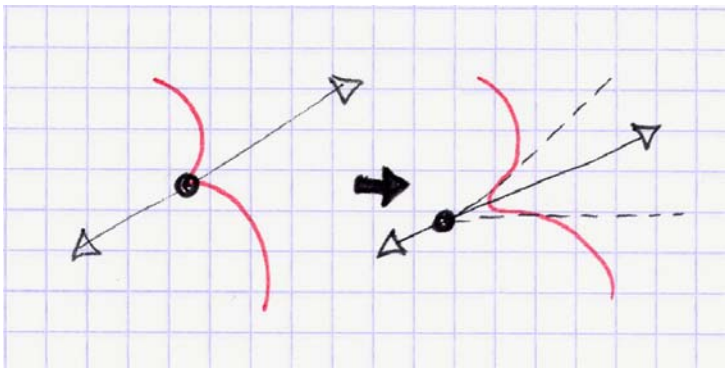
Aperçu du tracé des cubiques selon les points directeurs proposés.
Note :
Visuellement, il semble que les points directeurs des courbes C2/C3, C3/C4 pourraient être confondus, mais ils peuvent aussi être différents. Nous le préciserons plus loin.

La courbe C3 peut se construire selon quatre points directeurs, ou selon cinq points directeurs. On précisera aussi selon l'étude plus approfondie de la forme.



_ Croquis 13 :

Les coins ne sont pas pointus, ce qui se traduit par la présence d'un point directeurs extérieurs à la jonction des courbes, sur une tangente.



3.2/. Utilisation du Logiciel Autocad 2000.

Intégrée dans les logiciels de dessin comme Autocad, Claris draw, Adobe illustrator, …la méthode de points de courbures est connue sous la dénomination de Splines, ou courbes de Bézier. Au travers de l'utilisation du logiciel Autocad 2000, nous allons abordé le tracé de courbes « libres » selon ce nouveau moyen, pour le violon, et tenter d'y appliquer une méthode de dessin.

3.2.1/. Positionnement des points directeurs selon un module.

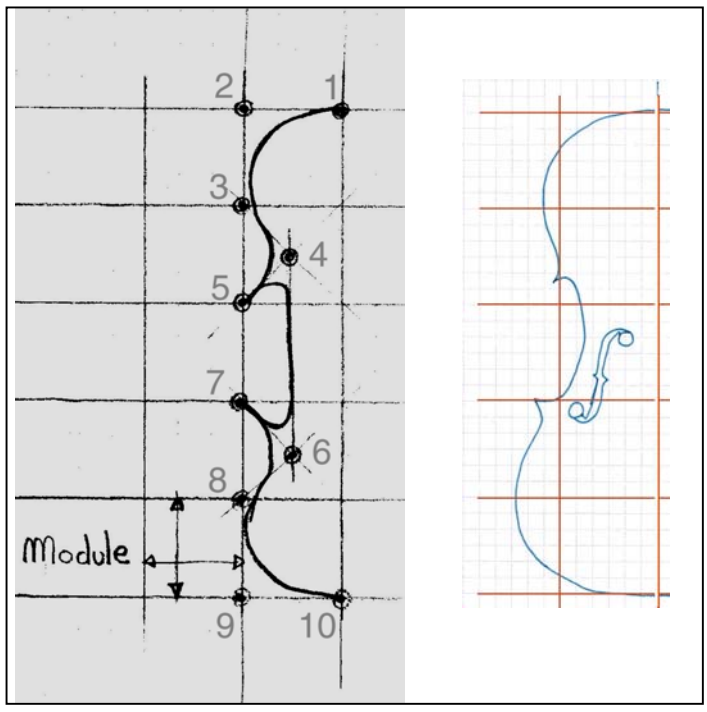
Dans Autocad, une Spline cubique se traduit par une polyligne de 3ème degré. Le logiciel considère, comme points directeurs, les intersections et extrémités des tangentes et axes qui vont permettrent le tracé des courbes.

L'objectif étant de trouver la localisation des pôles qui vont permettre un tracé précis des courbes du violon, il serait intéressant de pouvoir leur trouver une compréhension dans leur positionnement.
Comme nous l'avons fait pour la connaissance première de la forme du violon, nous allons rechercher le positionnement des points directeurs selon la démultiplication d'un module.
Soit, précédemment, nous avons trouvé les proportions basées sur un rapport de 15 modules. Pour cet exercice, réduisons le rapport, et subdivisons la longueur de l'instrument en 5 modules.

En partant d'une forme courbe initiale, nous allons lui appliquer une déformation en déplacement les points directeurs selon le module, pour atteindre la forme finale du violon existant.

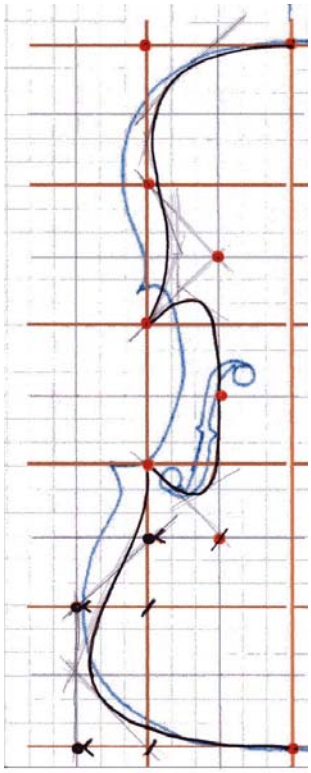
_ Croquis 14 :

La forme initiale ne correspond en rien à la forme du violon :
La forme est symétrique. L'éclisse est aplatie et les coins sont trop accentués. Les deux voûtes ont la même courbure, et les contre éclisses sont trop grandes.
Dans une moindre mesure, les proportions verticales semblent à peu près bonnes.
Note :
Considérons la transformation en étudiant chaque partie à la fois.
Dans un premier temps nous allons élargir la voûte basse en décalant les points directeurs 6,8,9 de ½ module.



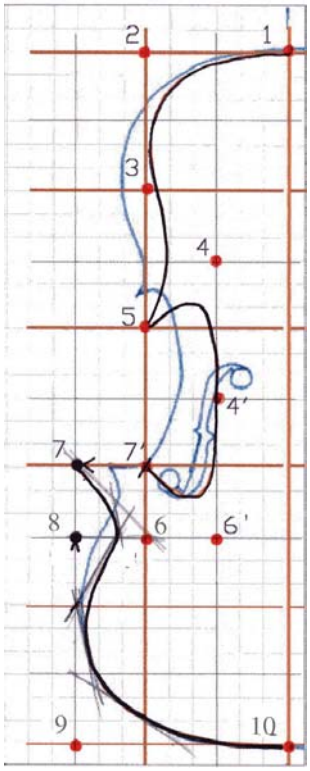
_ Croquis 15 :

Après déplacement, la voûte basse s'évase, mais perd de la courbure.
Note :
Le point 9 semble être bien placé désormais.
Décalons à nouveau le point 8 de ½ module mais verticalement.
Décalons aussi le point 7 de ½ module, à l'horizontal.



_ Croquis 16 :

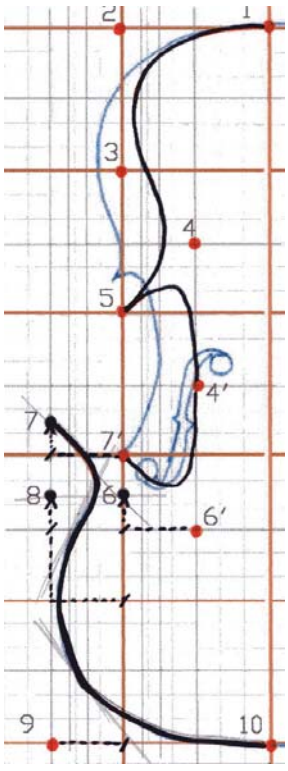
La voûte prend forme.
Note :
La courbe manque d'étirement.
Décalons les points 6,7,8 mais cette fois de ¼ de module, verticalement.



Penchons nous maintenant sur la voûte haute .

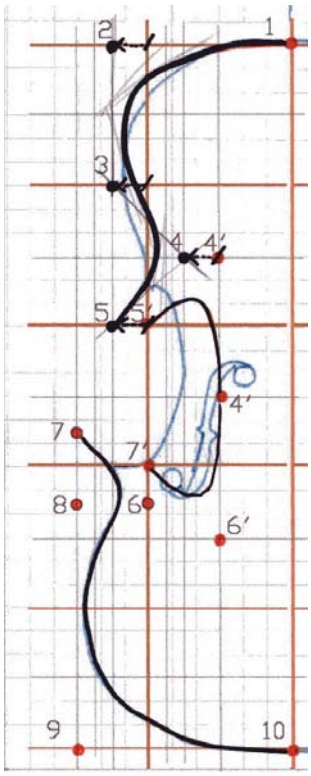
_ Croquis 17 :

L'emplacement des points directeurs pour la voûte basse sont localisés.
On peut donc écrire que pour réaliser cette voûte , il faut déplacer tous les points directeurs (6,7,8,9) de ½ module sur la gauche.
Puis vers le haut, il faut bouger le point 8 de ½ + ¼ , et les points 6 et 7 de ¼ de module.

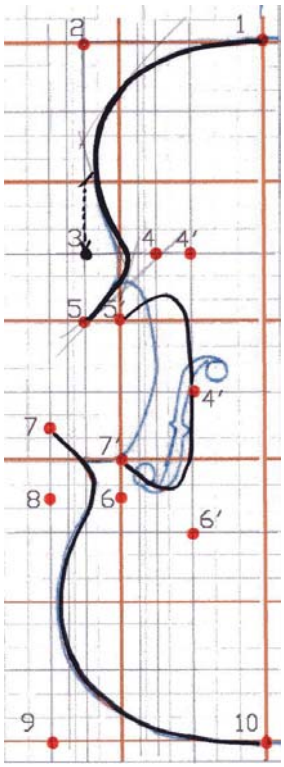


_ Croquis 18 :

Celle-ci demande un décalage moins important.
Commençons par déplacer les points 2,3,4,5 de ¼ de module.
Note :
La courbe inversée est devenue quelque peu symétrique et trop accentuée.
Le point 5 semble être dans l'axe du coin.
Décalons vers le bas le point 3 d'au moins ½ module.

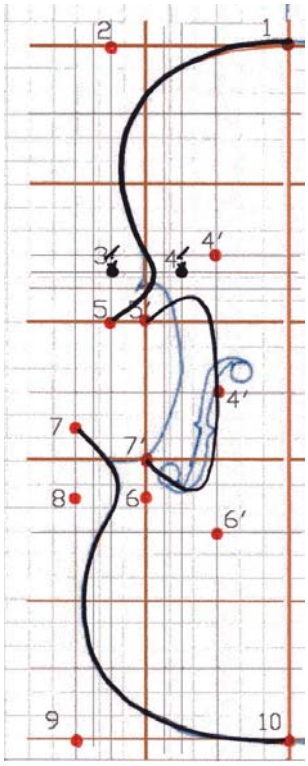


_ Croquis 19 :



La forme obtenue semble se mouler à celle du violon, mais la contre éclisse est tout de même plus marquée.
Note :
Déplaçons alors à nouveau, les points directeurs 3 et 4 de 1/8 de module.

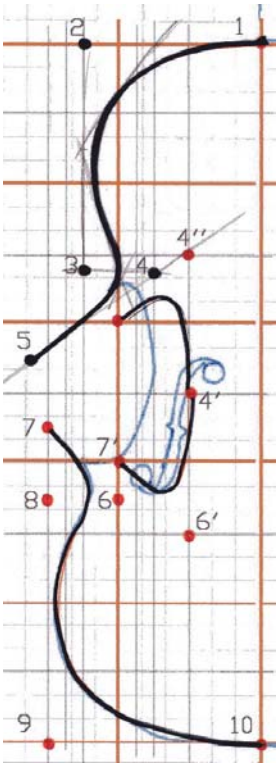
_ Croquis 20 :



Tous les points ont l'air placé. Seul, le point directeur 5 bien placé auparavant devient ici trop proche de la pointe ?
Note :
Etirons ce point selon une tangente passant par le segment [4 ;5] existant.

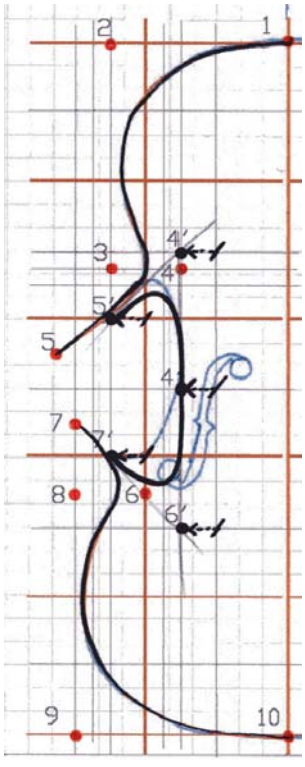
Enfin, étudions le tracé de l'éclisse.

_ Croquis 21 :



La voûte haute du violon est trouvée, les points directeurs sont placés.
On peut donc écrire que pour réaliser cette voûte , il faut déplacer les points directeurs 2,3, et 4 de ¼ module sur la gauche.
Puis, il faut déplacer, vers le bas, le point 3 de ½ + 1/8 , le point 4 de 1/8 de module.
On remarque que les points 2,3, et 4 de la voûte haute ont le même principe de déplacement que les points 6,8, et 9 de la voûte basse, mais divisé de moitié. Indépendamment le point directeur 5 se déplace de ½ + 1/8 de module sur la gauche et de ¼ de module vers le bas (sens inverse du point 3).

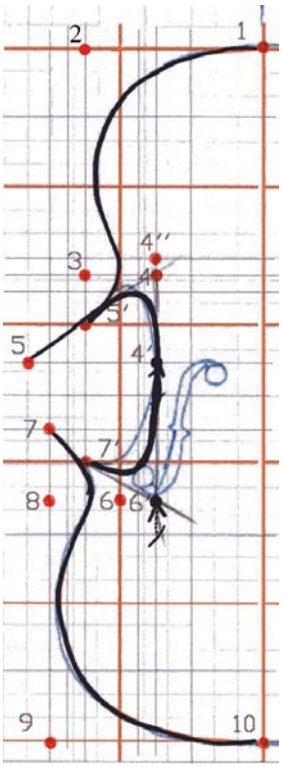
_ Croquis 22 :



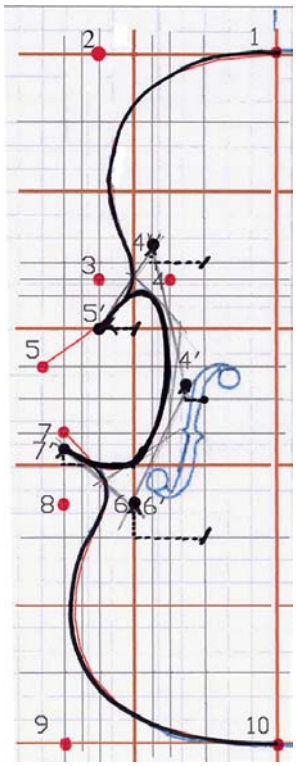
La forme et la taille du tracé existant semblent correspondre à celui de l'éclisse du violon.
Mais, ce tracé n'est pas bien positionné.
D'autre part, la courbe paraît un peu pointue en son milieu, on peut alors penser qu'il y aurait la présence d'un point directeur en plus.
Recherchons alors les différents localisations des points en prenant en compte celui-ci.
Note :
Décalons tous les points directeurs du tracé de la courbe (5', 4'', 4', 6', 7') de ¼ de module vers la gauche.

_ Croquis 23 :

La courbe est trop plate.
De plus près, on s'aperçoit que les deux contre-éclisses ne sont pas les même. Celle adjointe à la voûte haute possède un angle plus aiguë, que l'autre.
Note :
Déplaçons un peu les différents points, afin de se rapprocher de la courbe du violon.



_ Croquis 24 :



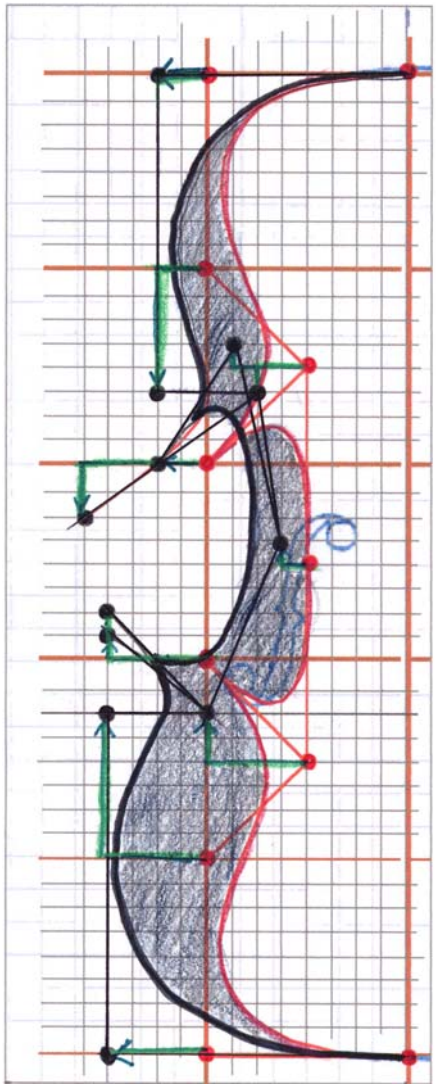
Après différents essais, on ne semble pas trouver de rapport de déplacement avec les points des deux autres voûtes, ou ne serait-ce qu'avec ses propres points.
On peut tout de même proposer ce déplacement :
Déplacer le point 6' de ½ module vers la gauche et de ¼ verticalement (il se confond avec le point 6) ; le point 4' de 1/8 vers la gauche et le haut afin qu'il soit centré par rapport à la longueur de la courbe ; le point 4''de 3/8 de module vers la gauche et de 1/8 vers le haut ; le point 5' de ¼ de module vers la gauche ; et le point 7' de ½ module vers la gauche et de 1/8 vers le haut.

3.2.2/. Proposition de proportions :

Exposons plus clairement le principe de déplacement des points directeurs pour le tracé des courbes selon les splines du logiciel Autocad:
Le violon est séparé en 5 modules. Le déplacement des points s'effectue jusqu'à une précision d'1/8 de module.

On notera que les déplacements des points directeurs de la courbe haute et de la courbe basse possèdent le même rapport mais avec un écart de I ¼ I de module.
Par exemple, si un point de la courbe basse se déplace de ½ module, le même point pour la voûte haute se déplace de ¼ de module.

Les déplacements horizontaux sont de même division de module pour les points de chaque voûte .
Les points directeurs 1, 2 _ 2,3 et 9, 8 _ 8,6 sont alignés orthogonalement.



points	Voûte haute	rapport	Voûte basse
1 / 9	¼ ← ↓ 0	+ ¼ + 0	½ ← ↑ 0
2 / 8	¼ ← ↓ ½+1/8	+ ¼ + 1/8	½ ← ↑ ½+ ¼
3 / 6	¼ ← ↓ 1/8	+ ¼ + 1/8	½ ← ↑ ¼
4 / 7	½ +1/8 ← ↓ ¼	+ 1/8 + 0	½ ← ↑ ¼

En revanche, pour l'éclisse, nous n'avons pas trouver de principe de déplacement. Cette courbe n'étant pas symétrique et non centrée pas rapport au milieu de l'instrument, il ne peut y avoir de concordance dans les déplacements.

L' Eclisse :

4'	4''	rapport	6'	5'	7'
1/8 ← ↑ 1/8	¼ + 1/8 ← ↑ 1/8	+ 1/8 + 1/8	½ ← ↑ ¼	¼ ← ↑ 0	½ ← ↑ 1/8

On peut remarquer que le rapport entre les points 4'' et 6' s'effectue par le déplacement du point central 4'.

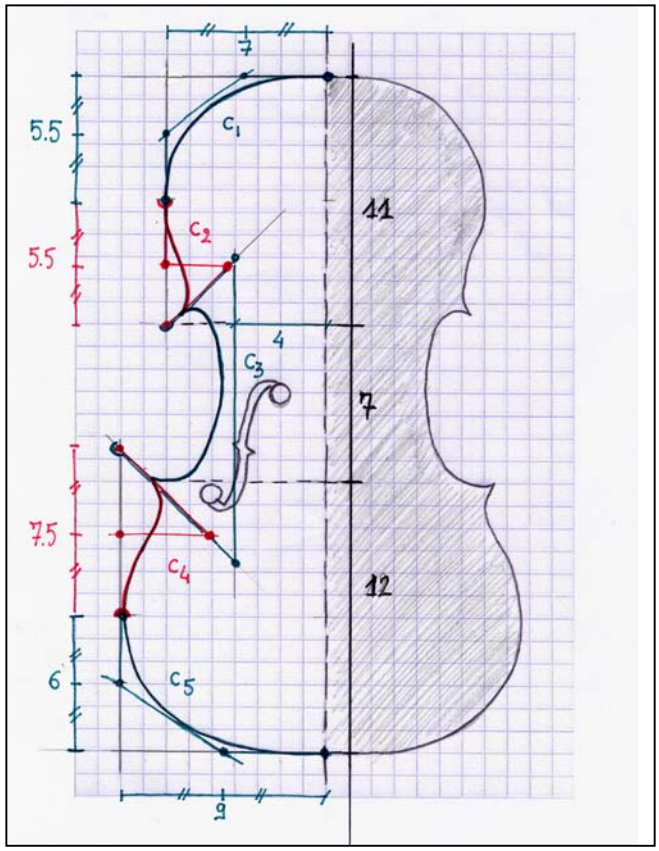
On arrive ainsi à trouver des rapports entre les différents points, mais leurs déplacements restent assez confus. Il y a beaucoup de points et l'on s'y perd un peu. Cette approche reste complexe.

Essayons maintenant le tracé des courbes par la méthode de De Casteljau à main levée.

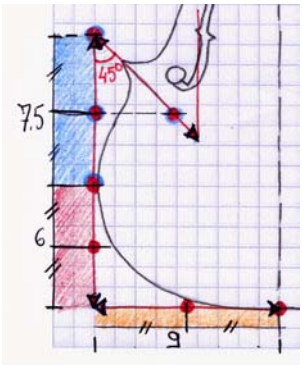
3.3/ Application de De Casteljau à main levée :

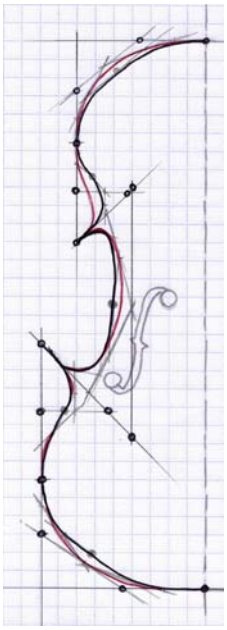
3.3.1/. Localisation des points directeurs :

_ Croquis 25 :



Positionnons au départ les différents nœuds permettant de dessiner les 5 cubiques (en vert : cubiques sans point d'inflexion ; en rouge : cubiques avec point d'inflexion).
Note :
Ces points sont positionnés selon la trame orthogonale (90° et 45° pour les nœuds placés à l'intérieur de l'instrument), les tangentes aux courbes, et pour certains de ces points, leurs localisations sont, temporairement, située au milieu segments « imaginaires ».
Par exemple :





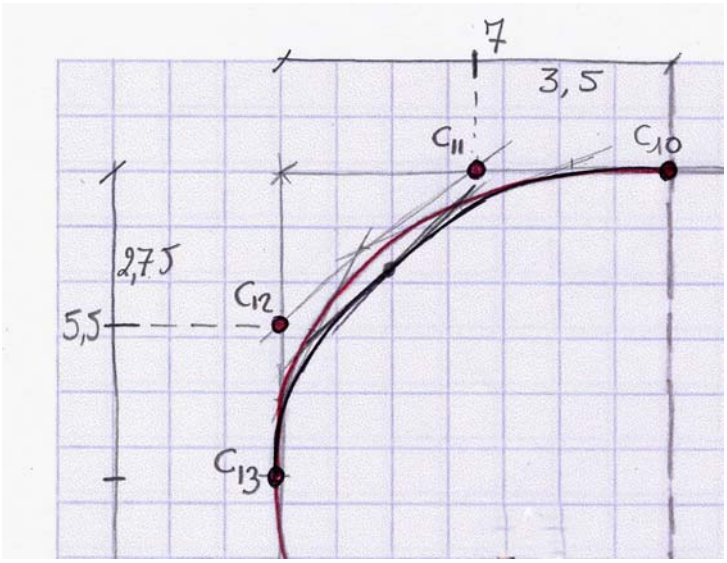
_ Croquis 26 :

D'après le positionnement des points présentés ci-dessus, on remarque que :
La courbe 1 est trop plate, pas assez rebondie.
La courbe 2 est, au contraire, trop marquée, trop profonde dans la caisse.
La courbe 3 semble bien prendre la forme de l'éclisse, mais est trop petite.
La courbe 4 parait bien se mouler à la contre éclisse.
La courbe 5 , comme pour la courbe 1, n'est pas assez rebondie.
Note :
Nous allons étudier chaque courbe, plus précisément, à une échelle plus petite.
Commençons par la courbe 1.

La Courbe 1 :

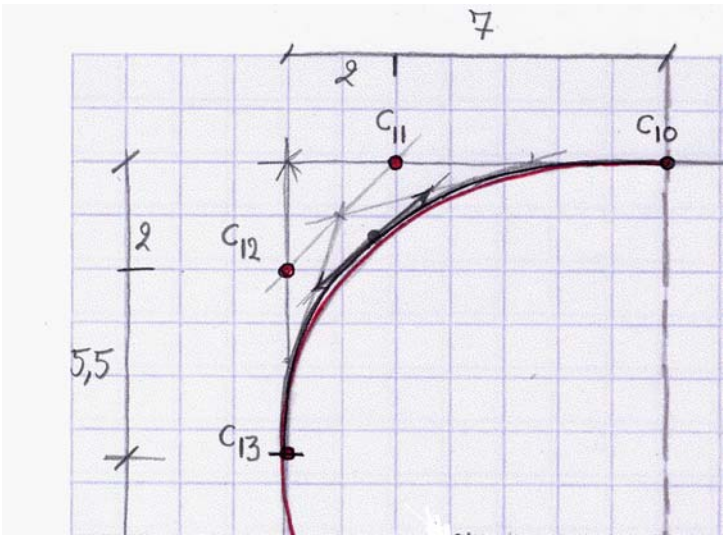
_ Croquis 27 :

A une plus petite échelle, nous pouvons mieux observer le décalage entre la courbe tracée et celle de la voûte haute.
Les points C10 et C13 sont positionnés tels l'intersection de la courbe et leur tangente sur le plan orthogonal.
Les points C11 et C12 sont placés de telle sorte que [C11,C10] et
[C12, C13] représentent ½ de leur axe.
La courbe C1 est, ainsi tracée, pas assez bombée.
Note :
Décalons vers la gauche, le point C11 de telle sorte qu'il représente 2/7 de
son axe. Puis vers le haut, le point C12
pour qu'il soit au 2/5.5 de son axe.



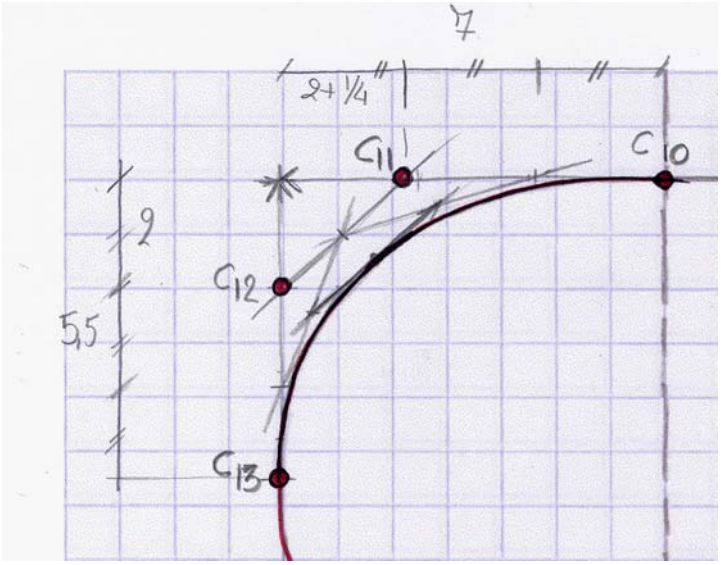
_ Croquis 28 :

Malgré une légère différence, la courbe ainsi obtenue, se moule à la voûte haute.
Note :
On peut retenir que 2 /5.5 = 0.36 et que 1/3 = 0.33. On pourrait alors dire que le point C12 doit être placé au 1/3 de son axe.
Vérifions pour le point C11. 2/7=0.28, déplaçons alors le point C11 afin
qu'il représente 1/3 de son axe, soit à 2 + ¼ de 7 carreaux.



_ Croquis 29 :

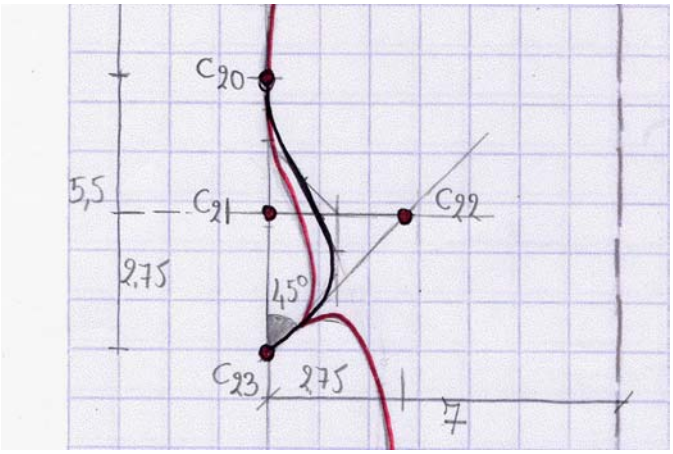
Nous pouvons conclure, que pour construire la forme courbe de la voûte haute du Stradivarius à main levée, les nœuds C11 et C12 doivent être posé au 1/3 de leur axe à partir de l'intersection.



La Courbe 2 :

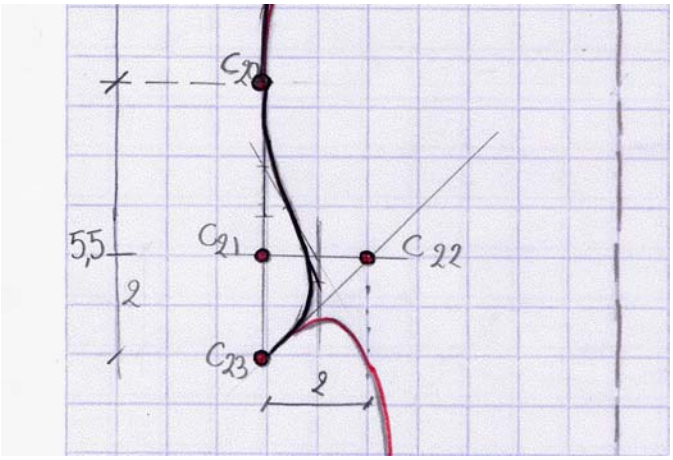
_ Croquis 30 :

De même que pour la précédente courbe, les points C20 et C23 sont localisés sur les tangentes. (Le point C20 est confondu avec le point C13).
Le nœud C21 est le point milieu du segment [C20, C23].
Le nœud C22 est sur un axe orienté à 45°.
La courbe effectuée est trop haute par rapport à la contre éclisse.
Note :
Rapprochons le point C21 du point C23,
tel que C21/C23= 2/5.5.



_ Croquis 31 :

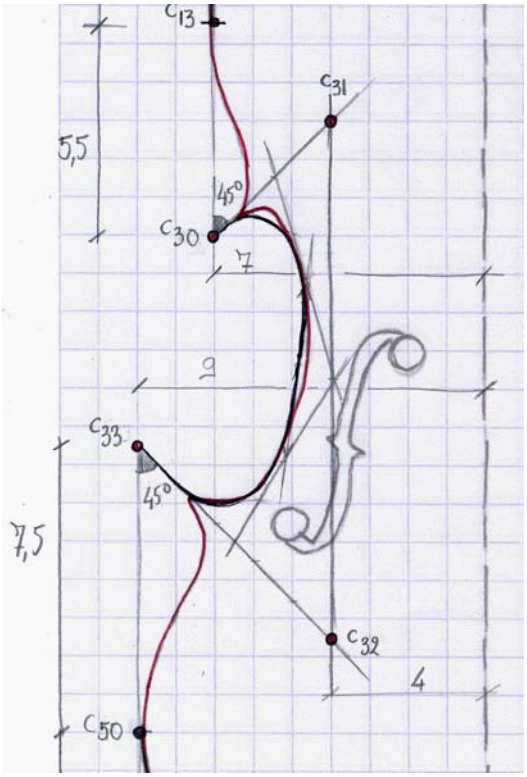
La courbe réalisée épouse bien la contre éclisse.
Note :
Nous pouvons conclure que, là aussi,
[C21,C23] représente 1/3 de [C20, C23].



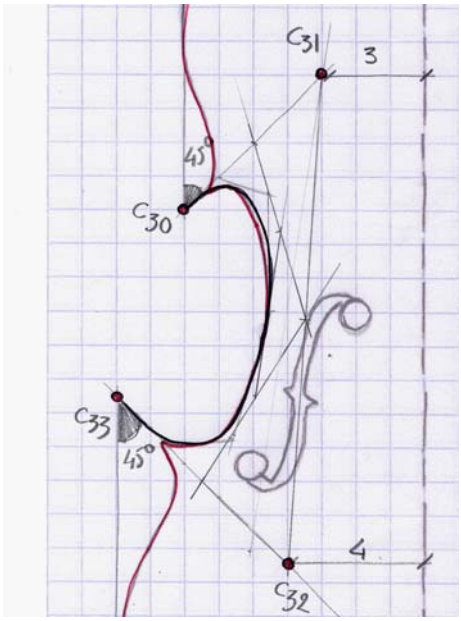
La courbe 3 :

_ Croquis 32 :

Les différents points de cette courbe sont déjà positionnés selon les axes orientés à 45° passant par les coins.
Le point C30 se confond avec le point C23, et le point C33 se confond avec le point C40.
Les points C31 et C32 sont placés sur une orthogonale, la plus proche de la courbe.
Note :
La courbe ainsi dessinée, commence à épouser la forme de l'éclisse, plus précisément celle du coin bas.
En revanche, elle n'est pas assez pointue pour le coin haut.
Décalons Le nœud C31 d'un carreau vers la droite.

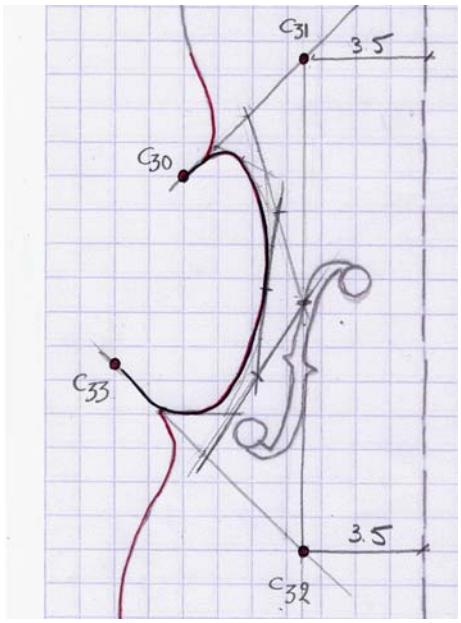


_ Croquis 33 :



Ainsi le nœud C31 décalé, la courbe se rapproche de la forme de l'éclisse. Mais elle la dépasse un peu, et s'en détache vers le coin bas.
Note :
Décalons à nouveau le tracé de la courbe. Alignons
A nouveau les points C31 et C32, mais cette fois à 3.5 carreaux de l'axe central du violon.

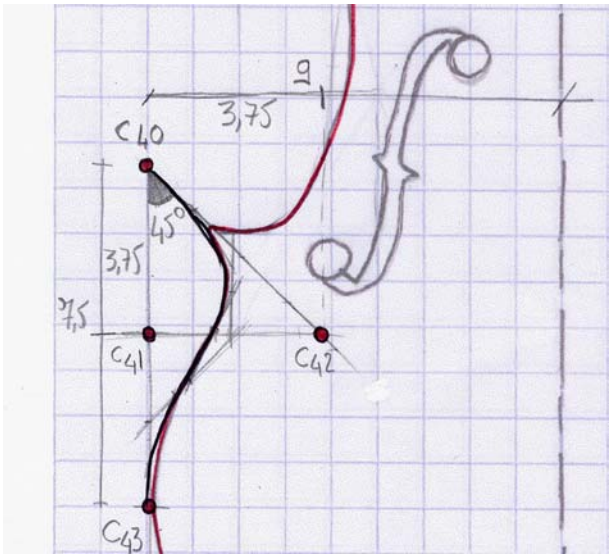
_ Croquis 34 :



Nous pouvons alors retenir qu'avec les nœuds C31 et C32, disposés à égale distance : 3.5, de l'axe central de l'instrument, ma courbe obtenue se moule à celle de l'éclisse.

La Courbe 4 :

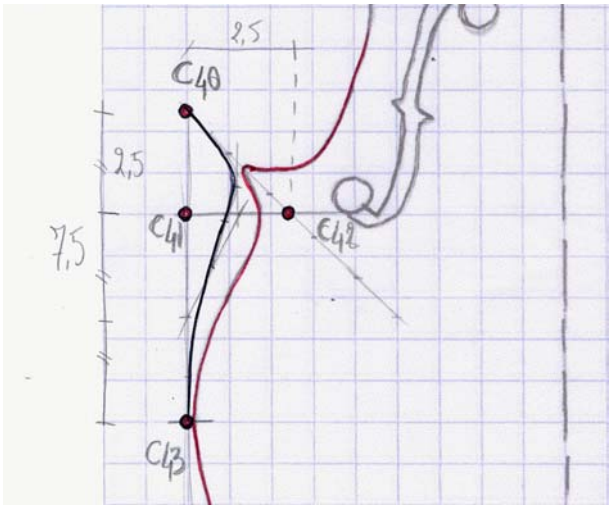
_Croquis 35 :



Comme pour la courbe C2, le point C41 est placé au milieu
de [C40, C43], et le point C42 sur un axe orienté à 45°.
La courbe tracée s'ajuste à celle du violon.
Note :
Essayons tout de même de voir, si un rapport de 1/3 ne fonctionnerait pas là non plus.
Le 1/3 de 7.5 est de 2.5.

_ Croquis 36 :

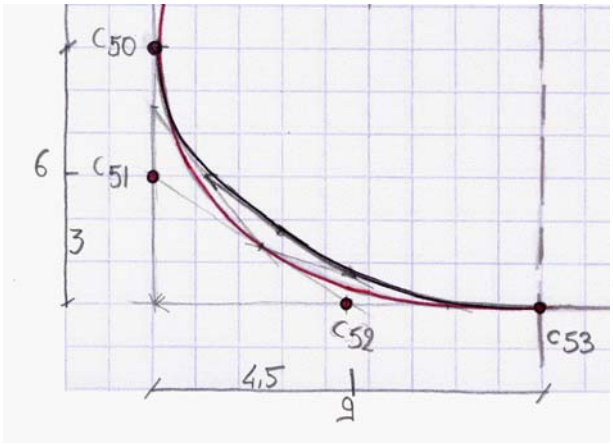
Pour cette courbe le rapport de 1/3 ne fonctionne pas.
Note :
On retiendra alors que pour la courbe C3, les nœuds se positionnent selon le rapport de ½ de l'axe.



La courbe 5 :

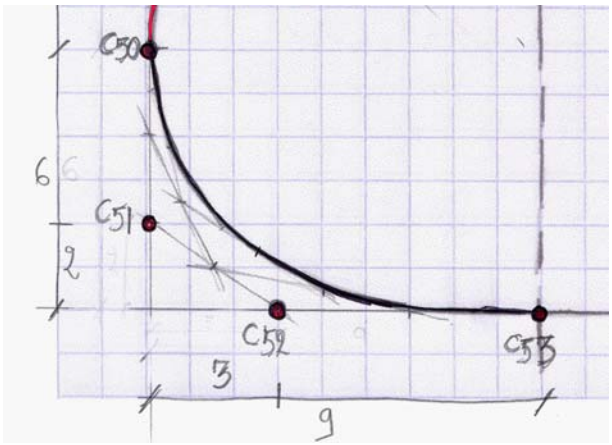
_ Croquis 37 :

Positionnés au milieu de leur axe respectif, les nœuds C51 et C52, ne permettent pas une courbe adaptée à la voûte basse du violon.
La courbe C4 n'est pas assez bombée.
Note :
Essayons, comme pour les courbes C1 et C2, de déplacer les nœuds C51 ,et C52 pour qu'ils soient positionnés au 1/3 de leur axe.



_ Croquis 38 :

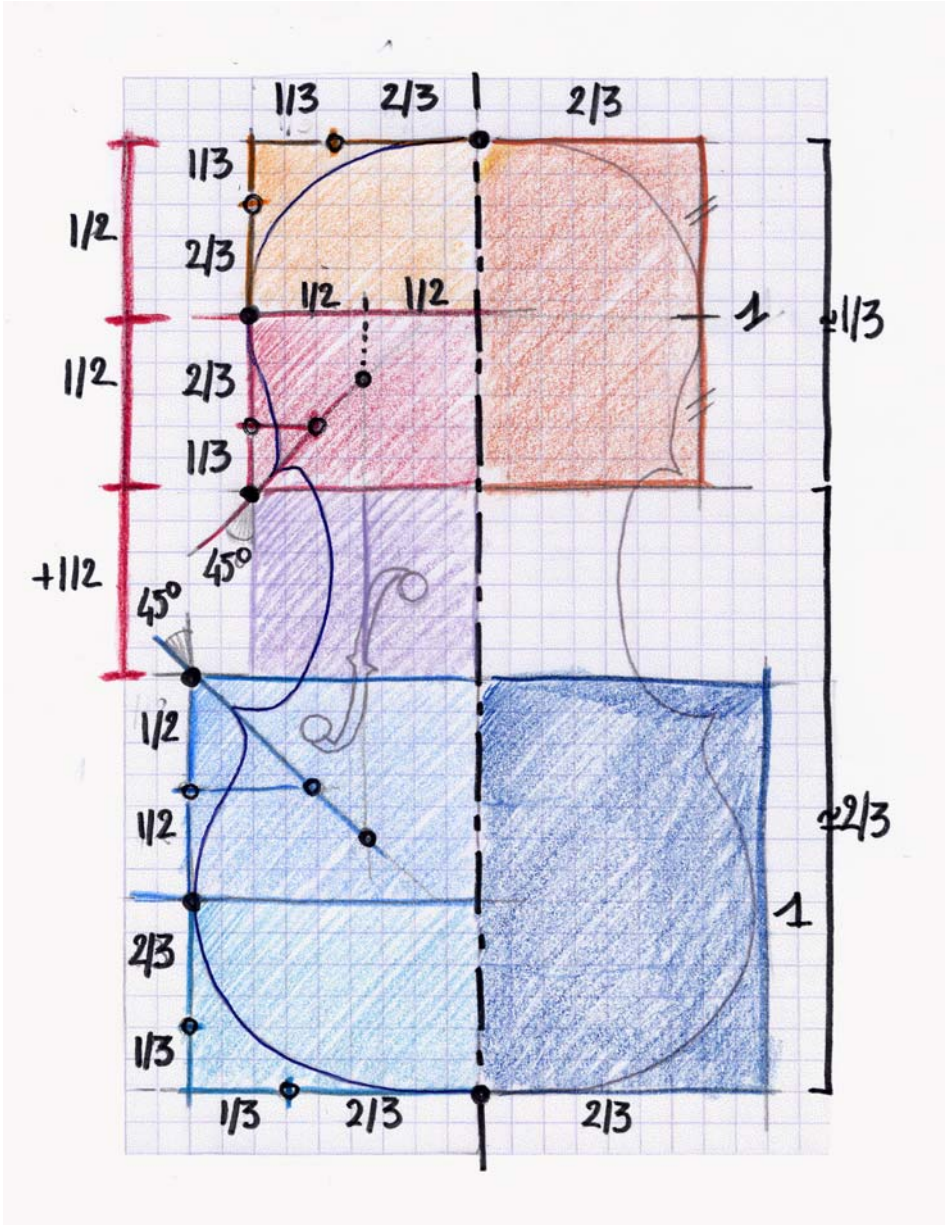
Les nœuds C51, C52 placés au 1/3 de leur axes, la courbe C5 se moule à la voûte basse.
2/6 = 1/3
3/9 = 1/3



3.3.2/. Proposition de proportion :

Avec le dessin à main levée, les proportions sont plus simples que pour le positionnement des points directeurs dans le logiciel Autocad.
Il faut avant tout noter que les différents points directeurs se positionnent toujours sur des axes orthogonaux et orientés à 45°. Leur localisation est alors simple à repérer.
D'autre part, le positionnement des nœuds répondent à une division moindre que le 1/8 de module.

On peut retenir que, d'une manière générale, le système de tracé suit un rapport de 1/3, 2/3 :



CONCLUSION :

Que ce soit dans l'architecture ou dans d'autres domaines, le potentiel de la courbe n'est pas exploité dans sa totalité. Même si aujourd'hui, les objets deviennent de plus en plus courbes, notamment dans le design, le tracé reste compliqué.
Jusque dans les années soixante, aucune méthode ne permettait de réaliser des formes gauches. Difficile à reproduire précisément, puisque la nécessité de l'Homme à recourir à des tracés régulateurs, des proportions, limite et rigidifie la création. La courbe était réduite à un assemblage d'arcs de cercles, ou simplement dessinée à l'œil, mais alors elle restait artisanale.

La méthode utilisée au travers des logiciels informatiques permet désormais le tracé de ces formes « libres », d'usiner les objets, mais elle reste complexe.
Le nombre de points de courbures est encore important et surtout diffus. On perd vite le contrôle de la courbe, le logiciel nous dépasse.
De plus, pour une réalisation manuelle (sur le terrain pour l'architecture, ou sur des objets délicats comme pour le violon) le logiciel informatique reste contraignant. Il faut savoir maîtriser cet outil.
Ainsi, le dessinateur reste sur les arcs de cercles, ou sur l'utilisation de gabarit.

La méthode de dessin à main levée de De Casteljau, pourtant méconnue, est un moyen idéal, car facile de compréhension et de réalisation pour ces projets.
Les points de courbures étant moins nombreux, on garde le contrôle. La (re)production est donc simple et précise.

Pour exemple, le violon, qui ne connaissait qu'une réalisation de copiage ou par des arcs de cercles positionnés aléatoirement, vient de se voir attribuer une nouvelle méthode de dessin. Facile à positionner, les points de courbures se situent essentiellement sur une trame orthogonale, et répondent à des proportions simple de ½ et 1/3. Ils ne restent plus qu'à tracer les courbes.
Ainsi, plus souple, plus proportionnelle, cette méthode permet une plus grande liberté, simplicité et facilité dans la création de l'instrument.

Si cette méthode, facile d'utilisation, permet de réaliser des formes gauches aussi simplement, pourquoi ne pas alors l'employer plus souvent ?
Aujourd'hui, où l'architecture est devenue orthogonale, à quelques exceptions prêt, pourquoi ne pas désormais évoluer vers des formes plus douces ?

Pourquoi ne pas l'employer dans l'architecture, et réaliser désormais les courbes sans craindre à la difficulté de reproduction sur le terrain ?
L'homme se rapprocherait ainsi plus des formes de la nature, comme il a toujours souhaité.

BIBLIOGRAPHIE

_ALTENBURGER Paul
« Manuel de lutherie, à l'usage des amateurs »
Editions H. Vial 2000
156 pages

_ CHING D.K. Francis
« Architecture : form, space and order »
Edition Van Nostrand Reinhold 1979
395 pages

_ Collectif
« Les grandes énigmes »
Collection La mémoire de l'humanité
Edition Larousse 1992, Paris

_ Collectif
Livre de mathématique 3ème
Collection cinq sur cinq
Edition Hachette, Paris

_ Collectif
traduction de DEBERGUES Y.
« Le grand livre du violon »
Edition Van De Velde 1984, Luynes
257 pages.

_ Collectif
Encyclopédie Universalis
Edition Larousse 2002, Paris
25 tomes

_ Collectif
Encyclopédie Diderot : « architecture »
Edition Charles Schmid 1994, Paris

_ DUPLAY Michel et Claire
« Méthode illustrée de création architecturale »
Edition Le Moniteur 1982, Paris

_FROMONOT Françoise
« Jorn Utzon et l'Opéra de Sydney »
Collection Documents d'architecture
Edition Gallimard 1998, Paris
237 pages

_GROSJEAN J.P.
« Le nombre d'or 1.618, mode d'emploi en design et en esthétique industrielle »
Edition H. Vial 1999
199 pages

_PACIOLI Luca
traduction française par
DUSCHESNE G. et GIRAUD M.
« De Divina Proportione »
Edition Librairie du Compagnonnage 1980

_PEROUSE DE MONTCLOS Jean-Marie
« Architecture, vocabulaire »
Edition Imprimerie Nationale 1989, Paris
622 pages

_ REY ALAIN
« Le robert, dictionnaire d'aujourd'hui »
Edition France Loisirs 1992, Paris.

SITE WEB

_Le violon :
http://members.aol.com/floridam/famille/cadrefa.html
http://coindumusicien.free.fr/Lecoin/violon.html

_Le nombre d'or :
http://trucsmaths.free.fr/nombre_d_or.htm
http://www.ac-poitiers.fr/arts-p/b@lise14/pageshtm_4.htm

_ Les courbes de Bézier :
http://liocity.free.fr/charger_delphi/tutorial/Bezier1.htm
http://liocity.free.fr/charger_delphi/tutorial/Bezier2.htm
http://users.info.unicaen.fr/~karczma/matrs/GraDeug/Code/Pr2503.html